

PCT/JP 03/11299

Rec'd PCT/PTO 03 MAR 2005

日 本 国 特 許 庁

04.09.03

JAPAN PATENT OFFICE

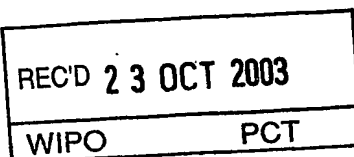
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2002年 9月 4日

出 願 番 号  
Application Number: 特願2002-258576  
[ST. 10/C]: [JP2002-258576]

出 願 人  
Applicant(s): 株式会社ディナベック研究所

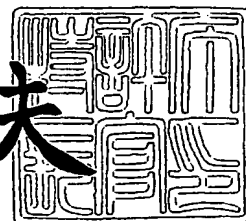


PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年10月 9日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



BEST AVAILABLE COPY

【書類名】 特許願

【整理番号】 D3-A0204

【提出日】 平成14年 9月 4日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 C12N 15/64

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府摂津市三島 2 - 5 - 1 塩野義製薬株式会社 創  
薬研究所内

【氏名】 小林 雅典

【特許出願人】

【識別番号】 595155107

【氏名又は名称】 株式会社ダイナベック研究所

【代理人】

【識別番号】 100102978

【弁理士】

【氏名又は名称】 清水 初志

【選任した代理人】

【識別番号】 100108774

【弁理士】

【氏名又は名称】 橋本 一憲

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 041092

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9716812

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 シアル酸結合活性を有する膜蛋白質をエンベロープに含むウイルスベクターをグラム陽性菌由来ノイラミニダーゼを用いて製造する方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 シアル酸結合活性を有する膜蛋白質を含むウイルスベクターの製造方法であって、グラム陽性菌由来ノイラミニダーゼの存在下で該ウイルスベクター産生細胞を培養し、産生されたウイルスを回収する工程を含む方法。

【請求項2】 グラム陽性菌が放線菌である、請求項1に記載の方法。

【請求項3】 放線菌が、ミクロモノスポラ科 (*Micromonosporaceae*) に属する放線菌である、請求項2に記載の方法。

【請求項4】 ミクロモノスポラ科に属する放線菌が、ミクロモノスポラ・ビリディファシエンス (*Micromonospora viridifaciens*) である、請求項3に記載の方法。

【請求項5】 ウイルスベクターが、レトロウイルスベクターである、請求項1から4のいずれかに記載の方法。

【請求項6】 レトロウイルスベクターが、レンチウイルスベクターである、請求項5に記載の方法。

【請求項7】 シアル酸結合活性を有する膜蛋白質が、一本鎖ネガティブ鎖RNAウイルスのエンベロープ蛋白質である、請求項1から6のいずれかに記載の方法。

【請求項8】 一本鎖ネガティブ鎖RNAウイルスが、パラミクソウイルス科 (*Paramyxoviridae*) またはオルトミクソウイルス科 (*Orthomyxoviridae*) に属するウイルスである、請求項7に記載の方法。

【請求項9】 シアル酸結合活性を有する膜蛋白質が、インフルエンザウイルスのHA蛋白質である、請求項1から6のいずれかに記載の方法。

【請求項10】 請求項1から9のいずれかに記載の方法により製造されたウイルス。

【発明の詳細な説明】

【0001】

**【発明の属する技術分野】**

本発明は、グラム陽性菌由来ノイラミニダーゼを用いて、シアル酸結合活性を有する膜蛋白質をエンベロープに含むウイルスベクターを製造する方法に関する。

**【0002】****【従来の技術】**

ほとんどの細胞表面には、シアル酸を含む糖蛋白質が存在している。ある種のウイルスは、このシアル酸と結合する蛋白質をウイルスのエンベロープに有しており、ウイルス粒子の細胞への吸着に機能している。例えば、インフルエンザウイルスは、エンベロープ蛋白質の1つであるヘマグルチニン (hemagglutinin; HA) を介して細胞の表面に存在するシアル酸に結合する。しかしながら、ウイルス複製過程において出芽の際には宿主細胞表面のシアル酸との結合を切断する必要がある、それにインフルエンザウイルスのノイラミニダーゼ (neuraminidase; NA) が大きな役割を果たしている。また、NAは自己凝集の阻止にも働いていることが報告されている (Compans, R. W. et al., 1969, J. Virol. 4: 528-534 (非特許文献1); Palese, P. et al., 1974, Virology 61: 397-410 (非特許文献2); Griffin, J. A. et al., 1983, Virology 125: 324-334 (非特許文献3); Liu, C. et al., 1995, J. Virol. 69: 1099-1106 (非特許文献4))。

**【0003】**

HA蛋白質の性質を利用して、遺伝子導入能を改良したHAシュードタイプ化ウイルスの作製も試みられている。この場合、ノイラミニダーゼが存在しないと、低い力価のウイルスしか産生させることができない (Hatzioannou, T., et al., 1998, J. Virol. 72: 5313-5317 (非特許文献5))。ベクターの生産系にNAを外来的に供給することにより、HA蛋白質のビリオンへの取り込みを促進し、力価も上昇させることができる (Dong, J., et al., 1992, J. Virol. 66: 7374-7382 (非特許文献6); Negre, D., et al., 2000, Gene Ther. 7: 1613-1623 (非特許文献7); Morse, K. M., et al., 2002, The American Society of Gene Therapy's 5th Annual Meeting (非特許文献8); W001/92508 (特許文献1))。しかしながら、これまでに用いられている精製NAで産生されるHAシュードタイプ化ウイル

スの力価は満足できるものではない。

【0004】

【特許文献1】

国際公開番号第W001/92508号

【非特許文献1】

Compans, R. W. et al., 1969, J. Virol. 4: 528-534

【非特許文献2】

Palese, P. et al., 1974, Virology 61: 397-410

【非特許文献3】

Griffin, J. A. et al., 1983, Virology 125: 324-334

【非特許文献4】

Liu, C. et al., 1995, J. Virol. 69: 1099-1106

【非特許文献5】

Hatzioannou, T., et al., 1998, J. Virol. 72 : 5313-5317

【非特許文献6】

Dong, J., et al., 1992, J. Virol. 66 :7374-7382

【非特許文献7】

Negre, D., et al., 2000, Gene Ther. 7: 1613-1623

【非特許文献8】

Morse, K. M., et al., 2002, The American Society of Gene Therapy's 5th Annual Meeting

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は、グラム陽性菌由来ノイラミニダーゼを用いて、シアル酸結合活性を有する膜蛋白質をエンベロープに含むウイルスベクターを製造する方法を提供することを課題とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】

これまでHAシュードタイプ化ウイルスの産生などにおいては、グラム陰性菌に

属するビブリオコレラ菌 (*Vibrio cholerae*) 由来のNAがしばしば用いられてきた。しかしながら、ビブリオコレラ菌由来NAを用いて産生されるベクターの力価は低く、また、コストの面においてベクターを工業的に大量生産することは困難であった。本発明者らは、シアル酸結合活性を有する膜蛋白質をエンベロープに含むウイルスベクターを高力価で、しかもより安価に製造する技術を開発するため、ウイルス生産に用いることができる新しいNAの探索を行った。その結果、グラム陽性菌由来のNAを用いることにより、ビブリオコレラ菌由来NAに比べ有意に高い力価のウイルスを産生させることに成功した。グラム陽性菌由来のNAを用いることにより、シュートタイプ化ベクターの工業的な大量生産が効率的かつ経済的に実施可能となる。

#### 【0007】

すなわち本発明は、グラム陽性菌由来ノイラミニダーゼを用いて、シアル酸結合活性を有する膜蛋白質をエンベロープに含むウイルスベクターを製造する方法に関し、より具体的には、

(1) シアル酸結合活性を有する膜蛋白質を含むウイルスベクターの製造方法であって、グラム陽性菌由来ノイラミニダーゼの存在下で該ウイルスベクター産生細胞を培養し、産生されたウイルスを回収する工程を含む方法、

(2) グラム陽性菌が放線菌である、(1)に記載の方法、

(3) 放線菌が、ミクロモノスポラ科 (*Micromonosporaceae*) に属する放線菌である、(2)に記載の方法、

(4) ミクロモノスポラ科に属する放線菌が、ミクロモノスポラ・ビリディファシエンス (*Micromonospora viridifaciens*) である、(3)に記載の方法、

(5) ウイルスベクターが、レトロウイルスベクターである、(1)から(4)のいずれかに記載の方法、

(6) レトロウイルスベクターが、レンチウイルスベクターである、(5)に記載の方法、

(7) シアル酸結合活性を有する膜蛋白質が、一本鎖ネガティブ鎖RNAウイルスのエンベロープ蛋白質である、(1)から(6)のいずれかに記載の方法、

(8) 一本鎖ネガティブ鎖RNAウイルスが、パラミクソウイルス科 (*Paramyxoviridae*) に属するウイルスである、(1)から(7)のいずれかに記載の方法、

viridae) またはオルトミクソウイルス科 (Orthomyxoviridae) に属するウイルスである、(7) に記載の方法、

(9) シアル酸結合活性を有する膜蛋白質が、インフルエンザウイルスの HA 蛋白質である、(1) から (6) のいずれかに記載の方法、

(10) (1) から (9) のいずれかに記載の方法により製造されたウイルス、に関する。

#### 【0008】

##### 【発明の実施の形態】

本発明は、シアル酸結合活性を有する膜蛋白質をエンベロープに含むウイルスベクターを製造する方法を提供する。本発明において「ウイルスベクター」とは、宿主内に核酸分子を導入する能力を有するウイルス粒子またはそれと同等の感染性微粒子を指す。本発明の方法は、ウイルスベクター産生細胞をグラム陽性菌由来ノイラミニダーゼの存在下で培養し、産生されたウイルスを回収する工程を含む方法である。グラム陽性菌由来ノイラミニダーゼを用いることにより、ウイルス産生細胞から回収されるウイルス量を有意に増大させることが可能となる。グラム陽性菌由来ノイラミニダーゼは、好ましくは放線菌由来である。本発明の方法は、細胞膜由来のエンベロープを有する所望のウイルスベクターの製造において適用することができる。本発明の方法は、好ましくは、例えばネガティブ鎖 RNA ウイルス、レトロウイルス、ボックスウイルス、ヘルペスウイルスなどの製造において適用されるが、特にレンチウイルスを含むレトロウイルスの生産に本発明の方法を好適に適用することができる。

#### 【0009】

製造されるウイルスは、複製能を持つウイルス (replication competent viruses) であっても、複製欠損型ウイルス (replication deficient viruses) であってもよい。例えば複製欠損型のウイルスベクターは、ウイルスゲノムから、感染性ウイルス粒子の形成または放出に役割を持つウイルス遺伝子の一部または全部を欠損させることにより作製される。すなわち、ウイルスゲノムのウイルス粒子内への取り込み、および標的細胞への核酸の導入に必要な核酸配列を残すようにウイルスゲノムを改変することにより、所望の遺伝子を細胞に導入するために

適した複製欠損型の組み換えウイルスベクターを製造することができる。例えば複製欠損型のレトロウイルスベクターであれば、ウイルスゲノムRNA中のgag、pol、envなどのウイルス蛋白質遺伝子の一部または全部を取り除き、ウイルスのパッケージングおよび標的細胞への遺伝子導入に必要な配列のみを残すようにウイルスベクターのゲノムを改変することができる。ウイルス粒子の産生に際しては、欠損させた遺伝子のうち、ウイルス粒子形成に必要な遺伝子をウイルス産生細胞内で発現させる。このように野生型ウイルスが持つウイルス遺伝子の少なくとも一部を失っている核酸をウイルスゲノムとして含むウイルス粒子も、本発明においてウイルスベクターに含まれる。

#### 【0010】

本発明は、特に組み換えウイルスの製造において好適に用いられる。「組み換えウイルス」とは、組み換えポリヌクレオチドを介して生成したウイルスを言う。組み換えポリヌクレオチドとは、自然の状態と同じようには結合していないポリヌクレオチドを言う。具体的には、組み換えポリヌクレオチドは、人の手によってポリヌクレオチド鎖の結合が改変（切断または結合）されたポリヌクレオチドである。組み換えポリヌクレオチドは、ポリヌクレオチド合成、ヌクレアーゼ処理、リガーゼ処理等を組み合わせて、公知の遺伝子組み換え方法により生成させることができる。組み換え蛋白質とは、組み換えポリヌクレオチドを介して生成した蛋白質または人工的に合成された蛋白質を言う。例えば、蛋白質をコードする組み換えポリヌクレオチドを発現させることにより、組み換え蛋白質を生産することができる。組み換えウイルスは、遺伝子操作により構築されたウイルスゲノムをコードするポリヌクレオチドを発現させ、ウイルスを再構築することによって生成することができる。

#### 【0011】

本発明の方法において製造されるウイルスベクターは、ウイルスエンベロープにシアル酸結合活性を有する蛋白質を有している。製造されるウイルスベクターとしては、天然においてシアル酸結合活性を有する蛋白質を持つウイルスであってもよく、天然においてはそのような蛋白質を持たないウイルスであって、人為的に該蛋白質をエンベロープに持たせたウイルスであってもよい。このように、



天然型ウイルスのエンベロープには全くまたはほとんど含まれないある蛋白質をエンベロープに持たせたウイルスを、その蛋白質によりシュードタイプ化したウイルスという。異種エンベロープ蛋白質を持つシュードタイプウイルスは、例えばウイルス産生細胞において、その蛋白質を発現させることにより製造することができる。本発明の方法においては、シアル酸結合活性を有する膜蛋白質でシュードタイプ化されたウイルスの製造において特に好適に適用することができる。

#### 【0012】

シアル酸結合活性を有する膜蛋白質としては、該蛋白質の細胞外領域にシアル酸結合領域を持つものが使用される。このような蛋白質としては、天然の蛋白質であるか人工的な蛋白質であるかは特に制限されない。天然においてシアル酸結合活性を有する膜蛋白質は、例えばウイルスのエンベロープ蛋白質などに多く見いだされている。このような蛋白質は、例えばヘマグルチネーション (Hemagglutination, HA; 赤血球凝集反応) を起す活性により同定することができる。HA活性を持つウイルス蛋白質は、ヘマグルチニン (hemagglutinin; 赤血球凝集素) と呼ばれることもある。このHA活性を持つウイルス蛋白は、本発明のウイルスの製造において特に好適に用いられる。

#### 【0013】

これまでに様々なウイルスにおいてHA活性が検出されている。これらのウイルスが持つHA活性を持つ蛋白質をそのまま、あるいは他の蛋白質とのキメラ蛋白質を作製することなどにより改変して、本発明のウイルス製造に用いることができる。HA活性は、種々の生物の赤血球を利用して検出することができる。HA活性の検出によく用いられる赤血球の種類および反応の至適温度は、各ウイルスによって適宜調節される。風疹ウイルスなどにおいては、反応にカルシウムイオンが必要であると言われている。アルボウイルスにおいては、反応の至適pHは厳密である。ウイルスのHA活性を持つ蛋白質としては、エンテロウイルス、風疹ウイルスなどではビリオンそのもの、アルボウイルス、アデノウイルスなどではビリオン以外にもビリオンより小さい粒子としても存在する。ポックスウイルスのヘマグルチニンはビリオンとは別の脂質を含む粒子として存在する。このようなHA活性を持つ蛋白質を用いて、HA活性を持つウイルスを製造することができる。アデノ

ウイルスIII亜群のウイルスなどは、ラットの赤血球を部分凝集させる不完全凝集を起すが、このような蛋白質もHA活性を持つ膜蛋白質として用いることができる。

#### 【0014】

HA活性（HA価）は公知の方法により試験することができる（国立予防衛生研究所学友会編，改訂二版 ウイルス実験学 総論，pp. 214-225，丸善株式会社）。赤血球としては、例えばニワトリ（ヒヨコおよび成鶏を含む）、ガチョウ、ラット、モルモット、アカゲザル、ミドリザル、またはヒトなどの赤血球が用いられ得る。反応温度は、0℃、4℃、室温、または37℃など、蛋白質により適した条件で行う。各ウイルスの赤血球凝集反応の反応条件の例を以下に示す。

#### 【0015】

例えばアデノウイルスのHA反応は、通常、pHに非依存的であり、温度は例えば37℃で行う。アデノウイルスのI亜群、例えば 3, 7, 11, 14, 16, 20, 21, 25, および 28 型などにおいては、例えばアカゲザル赤血球を用いるとよい。II亜群、例えば 8, 9, 10, 13, 15, 17, 19, 22, 23, 24, 26, および 27 型などにおいては、例えばラット赤血球を用いるとよい。III亜群、例えば 1, 2, 4, 5, および 6 型などにおいては、例えばラット赤血球を用いるとよく、不完全凝集が起こる。

#### 【0016】

エンテロウイルスのHA反応は、通常、pHに非依存的である。その中でも、例えばA7型などのコクサッキーウイルスの場合は、例えばニワトリ赤血球が用いられ、室温で凝集を起こす。A20, A21, A24型などのコクサッキーウイルスの場合は、例えばヒトO型赤血球が用いられ、4℃で凝集反応を起こす。コクサッキーウイルス B1, B3, B5型などの場合は、例えばヒトO型赤血球が用いられ、37℃で凝集反応を起こす。エコーウイルス、例えば 3, 6, 7, 11, 12, 13, 19, 20, 21, 24, 29型などにおいては、例えばヒトO型赤血球が用いられ、4℃で凝集反応を起こす。

レオウイルスのHA反応は、通常、pHに非依存的であり、室温で反応が起きる。例えば1型および2型はヒトO型赤血球が、3型はウシ赤血球が用いられる。

## 【0017】

パラミクソウイルスのHA反応は、例えばインフルエンザウイルスにおいては、pHは約7.2で行う。A型およびB型の場合はニワトリ、ヒト、またはモルモットなどの赤血球が用いられ、室温で反応が起きる。C型の場合は例えばニワトリ赤血球が用いられ、反応は4℃がよい。おたふくかぜウイルスおよびニューカッスル病ウイルス（NDV）の場合は、例えばニワトリ赤血球が用いられ、室温、pH約7.2で行うとよい。パラインフルエンザウイルスのHA反応は通常pH非依存的であり、1型などではニワトリまたはヒト赤血球が、2型の場合は例えばニワトリ赤血球が用いられ、反応は例えば4℃で行う。パラインフルエンザウイルス3型の場合は、ヒトまたはモルモット赤血球が用いられ、4℃～室温で反応させる。はしかウイルスの場合は、例えばミドリザル赤血球を用いて、37℃で反応させる。

## 【0018】

アルボウイルスの場合は、反応は酸性側に厳密であり、例えばガチョウまたはヒヨコ赤血球を用いて37℃で反応させる。ラウドウイルスの場合は、例えばガチョウ赤血球を用いて反応を行う。狂犬病ウイルスの場合はpHは6.4が好ましく、温度は例えば0℃で、水疱性口内炎ウイルス（VSV）の場合は、pHは5.8が好ましく、温度は例えば0℃で反応させる。ワクチニアウイルスおよび痘そうウイルスなどを含むポックスウイルスの場合は、通常、反応はpHに非依存的であり、例えばニワトリ赤血球を用いて室温～37℃において反応が見られる。風疹ウイルスの場合は、例えばヒヨコまたはガチョウ赤血球を用い、4℃、pH約6.2または7.2などで反応させる。ポリオーマウイルスの場合は、例えばモルモット赤血球を用い、4℃、pH7.2の条件を用いることができる。ラットウイルス（RV）の場合は、例えばモルモット赤血球で室温、pH7.2の条件が挙げられる。以上に挙げたようなHA活性を持つウイルス蛋白質またはその改変蛋白質を用いて、本発明の方法に従いウイルスを製造することが可能である。ここで改変蛋白質とは、天然の蛋白質の1つまたは複数のアミノ酸を欠失、置換、および/または挿入した蛋白質である。このような蛋白質であっても、シアル酸結合活性を有する膜蛋白質であれば使用することができる。改変蛋白質は、もとの蛋白質の部分アミノ酸配列を含むことが好ましく、より好ましくはもとの蛋白質の8アミノ酸以上、より好ましく

は9アミノ酸以上、より好ましくは10アミノ酸以上、より好ましくは15アミノ酸以上を含む。あるいは、改変蛋白質は、もとの蛋白質と好ましくは70%以上、より好ましくは80%以上、さらに好ましくは85%以上、さらに好ましくは90%以上のアミノ酸配列の同一性を有する。改変蛋白質は、もとの蛋白質またはその部分蛋白質に、他の蛋白質が付加された蛋白質であつてもよい。

#### 【0019】

ウイルスベクターのエンベロープに含まれるシアル酸結合活性を有する膜蛋白質の中でも、本発明の適用に特に好ましい蛋白質としては、具体的には、パラミクソウイルスのHN蛋白質、オルソミクソウイルスのHA蛋白質、トガウイルスのE1蛋白質、ワクシニアウイルスのA27L、H3L、D8L蛋白質、フラビウイルスのM、E蛋白質、コロナウイルスのE1、E2蛋白質、ブニヤウイルスのG1蛋白質などが挙げられる。特に、一本鎖ネガティブ鎖RNAウイルスが有するエンベロープ蛋白質が好ましく、特にオルソミクソウイルスのHA蛋白質が好ましい。

#### 【0020】

「一本鎖ネガティブ鎖RNAウイルス」とは、一本鎖ネガティブ鎖[すなわち(-)鎖] RNAをゲノムに有するウイルスを言う。このようなウイルスとしては、パラミクソウイルス (Paramyxoviridae; Paramyxovirus, Morbillivirus, Rubulavirus, および Pneumovirus属等を含む)、ラブドウイルス (Rhabdoviridae; Vesiculovirus, Lyssavirus, および Ephemerovirus属等を含む)、フィロウイルス (Filoviridae)、オルトミクソウイルス (Orthomyxoviridae; Influenza virus A, B, C, および Thogoto-like viruses 等を含む)、ブニヤウイルス (Bunyaviridae; Bunyavirus, Hantavirus, Nairovirus, および Phlebovirus属等を含む)、アレナウイルス (Arenaviridae) などの科に属するウイルスが含まれる。特に好ましくは、オルトミクソウイルス科ウイルスのHA蛋白質が挙げられ、最も好ましくは、インフルエンザウイルスのHA蛋白質が挙げられる。また、例えばセンダイウイルス、狂犬病ウイルス、あるいは麻疹ウイルスのHN (またはH) 蛋白質なども好適である。これらの蛋白質は、複数を組み合わせて使用してもよい。これらの蛋白質は、ウイルスの天然株、野生株、変異株、ラボ継代株、および人為的に構築された株などに由来してもよい。これらの蛋白質は、天然の蛋白質から改

変された蛋白質であってもよい。

#### 【0021】

シアル酸結合活性を有する膜蛋白質は、シアル酸に結合する以外の活性を持つものであってもよい。例えば、パラミクソウイルスのHN蛋白質には、シアル酸結合活性（HA活性）以外にノイラミニダーゼ（NA）活性も有している。HN蛋白質が持つノイラミニダーゼ活性は、それ自体がウイルス産生を促進する働きを持ちうるが、本発明の方法に従ってグラム陽性菌由来NAを併用することにより、より効率的にウイルス産生を行うことが可能となる。また、本発明においてシアル酸結合活性を有する膜蛋白質を2種またはそれ以上用いてもよい。例えば、オルトミクソウイルスのHA蛋白質とパラミクソウイルスHN蛋白質の2種の蛋白質でシュードタイプ化したウイルスの製造において、本発明の方法を用いることができる。HN蛋白質がもつNA活性とグラム陽性菌由来のNAにより、さらに高い効率でウイルスを細胞から放出させることが可能となる。

#### 【0022】

本発明におけるウイルスベクターの製造は、シアル酸結合活性を有する膜蛋白質を持つウイルスベクターの製造工程において、該ウイルスベクター産生細胞をグラム陽性菌由来ノイラミニダーゼの存在下で培養することにより行われる。すなわち、グラム陽性菌由来ノイラミニダーゼを含む培養液中でウイルス産生細胞を培養する。その後、産生されたウイルスを回収する工程により、細胞から産生されたウイルスを得ることができる。ウイルスの回収は、例えばウイルス産生細胞の培養上清を回収する工程であってよい。また、培養上清からさらにウイルスを回収する工程を含んでもよい。培養上清から、遠心、吸着、濾過等により、さらにウイルスを精製または濃縮することができる。

#### 【0023】

ノイラミニダーゼ（NA）（EC 3.2.1.18）とはシアル酸のグリコシド結合を切断する活性（これをNA活性という）を有する蛋白質を言い、具体的には細胞膜上の糖蛋白質または糖脂質中のシアル酸のグリコシド結合を切断する活性を有する蛋白質である（Schauer, R., Adv. Carbohydr. Chem. Biochem. 40 (1982) 131-234; Cabezas, J.A., Biochem. J. 278 (1991) 311-312）。ノイラミニダーゼの

活性は、N-Acetylneuraminylactose (NANA-lactose) または牛顎下腺ムチン (Bovine submaxillary mucin) を基質として、pH 5.0、37℃において1分間に $1\mu\text{mol}$ のN-Acetylneuraminic acid (NANA) を生成するに要する酵素量を1 unit (U) として定義される (Cassidy, J.T. et al., J. Biol. Chem. 240: 3501 (1965))。NAは、シアリダーゼ (sialidase) と呼ばれることもある。

#### 【0024】

グラム陽性菌由来NAとは、グラム陽性菌が持つNAまたはその構造的同等物、あるいはそれらの改変体を言う。例えばグラム陽性菌由来NAには、グラム陽性菌培養物から精製されたNA、およびその組み換え体が含まれる。グラム陽性菌由来NAの組み換え体は、グラム陽性菌由来NAをコードする遺伝子を同種あるいは異種の生物中で発現させることにより製造することができる。グラム陽性菌から得ることができるNAは、他の原料から得たものであっても、グラム陽性菌から得られたNAと同等の蛋白質であれば、グラム陽性菌由来NAに含まれる。またグラム陽性菌由来NAには、野生型グラム陽性菌NAの1つまたは複数のアミノ酸を欠失、置換、および/または挿入することにより改変した蛋白質であって活性を持つ蛋白質が含まれる。改変されるアミノ酸数はNA活性を持つ限り制限されないが、好ましくは70アミノ酸以内であり、より好ましくは50アミノ酸以内であり、より好ましくは30アミノ酸以内であり、より好ましくは20アミノ酸以内であり、より好ましくは10アミノ酸以内であり、より好ましくは5アミノ酸以内であり、より好ましくは3アミノ酸以内である。改変されたNAは、グラム陽性菌野生型NAのアミノ酸配列と好ましくは70%以上、より好ましくは80%以上、さらに好ましくは85%以上、さらに好ましくは90%以上の同一性を有する。アミノ酸配列の同一性は、例えば、KarlinおよびAltschulによるアルゴリズムBLAST (Karlin, S. and Altschul, S.F., Proc. Natl. Acad. Sci. USA 87:2264-2268, 1990, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 90:5873-5877, 1993)によって決定することができる。BLASTプログラムを用いる場合には、デフォルトパラメーターを用いるとよい。これらの解析方法の具体的な手法は公知である (NCBI (National Center for Biotechnology Information) の BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) のウェブサイトを参照; <http://www.ncbi.nlm.nih.gov>)。アミノ酸の改変に当たっては、NA活性に

重要なBNR (bacterial neuraminidase repeat ; Pfam Accession number PF02012 (Aspボックスとも呼ばれる)) を破壊しないよう、他の領域のアミノ酸を改変することが好ましい (Roggentin P. et al., Glycoconj. J. 6:349-353, 1989; Copley, R.R. et al., Protein Sci. 10:285-292, 2001)。BNRは複数コピーが互いに40アミノ酸残基以上離れて繰り返すことが好ましい。野生型NAのN末端および/またはC末端のアミノ酸は、改変しても活性に最小限の影響しか及ぼさないと考えられる。

#### 【0025】

グラム陽性菌由来NAには、例えば、野生型グラム陽性菌NAの部分蛋白質であって、NA活性を有する蛋白質が含まれる。またグラム陽性菌由来NAには、野生型グラム陽性菌NAまたはその部分蛋白質に、他の蛋白質が付加された蛋白質であって、NA活性を有する蛋白質が含まれる。活性を維持したまま、部分長の蛋白質あるいは他の蛋白質との融合蛋白質を作製することは、当業者が通常行っている。

#### 【0026】

グラム陽性菌とは、グラム染色 (Gram stain) に陽性の細菌およびその他の菌類を言う。グラム染色とは、一般に、塩基性染色液 (例えばクリスタルバイオレットなど) で染色し、ついでルゴール液 (I<sub>2</sub>-KI液) で処理してから極性溶媒 (アルコールまたはアセトンなど) で短時間洗浄した時に脱色抵抗性を示す菌を言う。洗浄後の対比染色 (例えばサフラニン液または希釈カルボールフクシン液) により、グラム陰性菌は赤色に染まるがグラム陽性菌は紫色を呈する。グラム陽性菌は、一般に比較的厚い (15~80nm) 細胞壁を持ち、多くは外層にリポ多糖を欠く。またリソチームに感受性が高いものが多い。具体的には、グラム陽性菌にはブドウ球菌、連鎖球菌、枯草菌、巨大菌、および放線菌などが含まれる。本発明においてグラム陽性菌由来NAは、好ましくは放線菌由来NAである。

#### 【0027】

放線菌とは、放線菌目 (Actinomycetales) 細菌およびその他の放線細菌 (Actinobacteria) を言う。放線菌はグラム陽性細菌のグループに属する。放線菌目には、フランキア科 (Frankiaceae)、ミクロモノスポラ科 (Micromonosporaceae)、プロピオニバクトリウム科 (Propionibacteriaceae)、シウドノカルジア

科 (Pseudonocardiaceae)、ストレプトミセス科 (Streptomyceae)、ストレプトスポランギウム科 (Streptosporanguaceae)、テルモモノスポラ科 (Thermomonosporaceae)、コリネバクテリウム科 (Corynebacteriaceae)、マイコバクテリウム科 (Mycobacteriaceae)、およびノカジア科 (Nocardiaceae) が含まれる。本発明において用いられるノイラミニダーゼは、好ましくは放線菌目細菌由来、より好ましくはミクロモノスポラ科細菌由来、より好ましくは、ミクロモノスポラ属細菌由来のNAである。ミクロモノスポラ属細菌としては、*M. aurantiaca*、*M. brunnea*、*M. brunnescens*、*M. carbonacea*、*M. cellulolyticum*、*M. chalybeata*、*M. chersinia*、*M. citrea*、*M. coerulescens*、*M. echinoaurantiaca*、*M. echino-brunnea*、*M. echinospora*、*M. floridensis*、*M. fulviviridis*、*M. fulvopurpureus*、*M. fulvoviolaceus*、*M. globosa*、*M. griseorubida*、*M. halophytica*、*M. inositol*、*M. invensis*、*M. lacustris*、*M. megalomicea*、*M. melanospora*、*M. narashino*、*M. olivasterospora*、*M. peucetica*、*M. purpurea*、*M. purpureochromogenes*、*M. rhodorangea*、*M. rosaria*、*M. rosea*、*M. sagamiensis*、*M. viridifaciens*、*M. yulongensis*、*M. zionensis* などが挙げられるが、これらに制限されない。特に好ましいNAとしては、*M. viridifaciens* (ATCC 31146) 由来のNAが挙げられる。*M. viridifaciens*のNA遺伝子 (*nedA*) の塩基配列は Accession Number D01045 に、コードされる蛋白質のアミノ酸配列は Q02834 に記載されている (Sakurada, K. et al., J. Bacteriol. 174(21):6896-903, 1992)。

#### 【0028】

本発明のウイルスの製造方法においては、上記のようなグラム陽性菌由来NAの存在下でウイルスの産生細胞を培養し、産生されたウイルスを回収する。ウイルスは細胞から培養液中に放出されるので、培養上清を回収することによりウイルスを回収することができる。シアル酸結合蛋白質によりシュードタイプ化したウイルスの製造であれば、該蛋白質を発現する細胞においてウイルスの産生させる際に、該細胞をグラム陽性菌由来NAの存在下で培養し、産生されたウイルスを回収する。グラム陽性菌由来NAは、NAを培養液中に添加して供給してもよいし、NAを発現するベクターを用いてウイルス産生細胞またはウイルス産生細胞と共培養する細胞などから該NAを分泌させてもよい。NAは、ウイルス産生細胞の培養期間



の少なくとも一部の期間存在している。NAの存在下でウイルス産生細胞を培養する時間は、例えば1時間以上、好ましくは3時間以上、より好ましくは5時間以上、より好ましくは10時間以上、より好ましくは20時間以上である。好ましくは、ウイルス産生細胞の培養物から産生されたウイルスを回収する前に1時間以上、好ましくは3時間以上、より好ましくは5時間以上、より好ましくは10時間以上、より好ましくは20時間以上、グラム陽性菌由来NAの存在下でウイルス産生細胞を培養する。この間に培養上清中にウイルスが蓄積する。

#### 【0029】

グラム陽性菌由来ノイラミニダーゼの存在量は、ウイルス産生量を最大化させるように適宜調整することができる。培養液中のグラム陽性菌由来NAの濃度は、例えば、0.1 mU/ml ~ 1000 U/ml であり、好ましくは 0.2 mU/ml ~ 500 U/ml であり、より好ましくは 0.5 mU/ml ~ 100 U/ml であり、より好ましくは 1 mU/ml ~ 50 U/ml である。特に、グラム陽性菌由来NAは 10 U/ml以下でも十分な力価のウイルスを製造することが可能であり、例えば 1 U/ml 以下、0.1 U/ml 以下、0.05 U/ml以下、あるいは0.01 U/ml以下といった低用量でも高い力価のウイルスをウイルス産生細胞から放出させることができる点で優れている。

#### 【0030】

本発明の方法を用いて製造されるウイルスベクターは、例えば上記のシアル酸結合膜蛋白質以外にさらに別の蛋白質をエンベロープに含んでもよい。例えば、ネガティブ鎖RNAウイルスのHA（またはHN）蛋白質などのヘマグルチニン活性を有するエンベロープ蛋白質に加えて、ネガティブ鎖RNAウイルスのF蛋白質などの膜融合に関わるエンベロープ蛋白質をさらに含むことができる。また、所望のウイルス由来のエンベロープ蛋白質をさらに含むことができる。例えばヒト細胞に感染するウイルスに由来するエンベロープ蛋白質が好適に用いられる。このような蛋白質としては、特に制限はないが、レトロウイルスのアンフォトロピックエンベロープ蛋白質、水疱性口内炎ウイルス（VSV）のG蛋白質などが挙げられる。また、ヘルペスウイルス科の蛋白質としては、例えば単純ヘルペスウイルスのgB、gD、gH、gp85蛋白質、EBウイルスのgp350、gp220蛋白質などが挙げられる。ヘパドナウイルス科の蛋白質としては、B型肝炎ウイルスのS蛋白質などが挙げ

られる。

### 【0031】

例えば、レトロウイルスのアンフォトロピックエンベロープ（アンフォトロピックenv）蛋白質、およびネガティブ鎖RNAウイルスのHA（またはHN）蛋白質を含むベクターを、本発明の方法に従って製造することができる。また、本発明の方法により製造されるウイルスは、例えば水疱性口内炎ウイルス（Vesicular stomatitis virus; VSV）の表面糖蛋白質であるVSV-G蛋白質を含むことができる。VSV-Gはほとんどの動物細胞に存在するリン脂質をレセプターとしていると考えられており、VSV-G蛋白質およびシアル酸結合蛋白質を含むベクターを用いることにより、遺伝子導入できる細胞種が飛躍的に増え、導入効率も上昇する（WO01/92508）。例えば、VSV-G蛋白質およびネガティブ鎖RNAウイルスのHA（またはHN）蛋白質を含むベクターが例示できる。これらのベクターは、さらにネガティブ鎖RNAウイルスのF蛋白質を含むことができる。すなわち、レトロウイルスのアンフォトロピックエンベロープ蛋白質、F蛋白質、およびHA（またはHN）蛋白質を含むベクター、並びにVSV-G蛋白質、F蛋白質、およびHA（またはHN）蛋白質を含むベクターの製造において本発明は有用である。さらに、これらのベクターは、ネガティブ鎖RNAウイルスのM蛋白質を含むことができる。本発明は、レトロウイルスのアンフォトロピックエンベロープ蛋白質、F蛋白質、HA（またはHN）蛋白質、およびM蛋白質を含むベクター、並びにVSV-G蛋白質、F蛋白質、HA（またはHN）蛋白質、およびM蛋白質を含むベクターの製造において好適に適用することができる。上記のようなベクターは、粘液を有する細胞や造血幹細胞を含む細胞分画など、従来では遺伝子の導入が困難であった細胞に対しても高い遺伝子導入能を示す点でも優れている。また、VSV-G蛋白質は1種類の糖蛋白質が安定な3量体を形成して膜上に存在するため、精製過程でのベクター粒子の破壊が起こりにくく、遠心による高濃度の濃縮が可能となる（Yang, Y. et al., Hum Gene Ther: Sep, 6(9), 1203-13. 1995）。

### 【0032】

ベクターのシュードタイプ化のために用いるネガティブ鎖RNAウイルスのHA（またはHN）、F、およびM蛋白質としては特に制限はない。特に、オルトミクソウ

イルス科、およびパラミクソウイルス科ウイルスの蛋白質は好適である。具体的には、例えば、インフルエンザウイルスおよびセンダイウイルスのエンベロープ蛋白質は好適に用いられ得る。例えば、ウイルス産生細胞においてインフルエンザウイルスのHA蛋白質を発現させて製造されたHAシュードタイプウイルスは、ヒト細胞を含めた広い哺乳動物細胞に感染可能である。ネガティブ鎖RNAウイルスのHA（またはHN）、F、およびM蛋白質等は、所望の株由来の蛋白質を用いることができ、例えば病原性ウイルスの蛋白質においては、強毒株または弱毒株由来の蛋白質であってよい。例えばセンダイウイルスのHN、F、およびM蛋白質としては、例えばZ株由来の蛋白質を用いることができる。インフルエンザウイルスエンベロープ蛋白質としても、所望の単離株由来のものが用いられ得る。

#### 【0033】

また、レトロウイルスのアンフォトロピックエンベロープ蛋白質としては、例えばマウス白血病ウイルス（MuLV）4070A株由来のエンベロープ蛋白質を用い得る。また、MuLV 10A1由来のエンベロープ蛋白質を用いることもできる（例えばpCL-10A1(Imgenex) (Naviaux, R. K. et al., J. Virol. 70: 5701-5705 (1996))）。エコトロピックエンベロープ蛋白質としては、例えばモロニーマウス白血病ウイルス（MoMuLV）由来のエンベロープ蛋白質を用いることができる。水疱性口内炎ウイルスG蛋白（VSV-G）としては、例えば Indiana血清型株（J. Virology 39: 519-528 (1981)）由来の蛋白を用いることができる。これら以外にも、所望の株由来の蛋白質を用いることができる。

#### 【0034】

ネガティブ鎖RNAウイルスのHA（またはHN）、F、G、M、あるいはレトロウイルスエンベロープ蛋白質など、上記のエンベロープ蛋白質は、野生型ウイルスが持つインタクトな蛋白質であってもよいし、天然または人為的に変異が導入されていてもよい。例えば、細胞表面の抗原分子となりうるエンベロープ蛋白質の抗原提示エピトープ等を解析し、これを利用して抗原提示能を弱めた蛋白質を用いてウイルスを作成することも可能である。

#### 【0035】

例えば、HA蛋白質またはHN蛋白質などのシアル酸結合活性を有するウイルスエ

ンベロップ蛋白質や、他のエンベロップ蛋白質の細胞質側領域を欠失、置換、および/または付加により改変した蛋白質を用いてウイルスベクターをシュードタイプ化することにより、より高い遺伝子導入能を有するベクターを製造することが可能である。本発明は、天然に存在するシアル酸結合活性を有する膜蛋白質の細胞質側領域の一部または全部が、置換、欠失、および/または付加により改変された蛋白質を含むシュードタイプウイルスベクターの製造方法に関する。具体的には、例えばネガティブ鎖RNAウイルスのHA（またはHN）蛋白質および/またはF蛋白質の細胞質側領域を欠失させたり、他の膜蛋白質（例えばレンチウイルスを含むレトロウイルスのエンベロップ蛋白質）の細胞質側領域で置換または付加した改変蛋白質は、感染効率の高いウイルスベクターを製造するために好適に用いられる。特にシアル酸結合活性を有するウイルスエンベロップ蛋白質の細胞質側領域が、置換、欠失、および/または付加により野生型から改変されている蛋白質を用いて、より感染効率の高いシュードタイプウイルスベクターを製造することができる。例えばレトロウイルスの製造であれば、細胞質側領域をレトロウイルスのエンベロップ蛋白質のそれに置換したり、あるいはレトロウイルスのエンベロップ蛋白質の細胞質側領域を付加することが好適である。

#### 【0036】

具体的には、ネガティブ鎖RNAウイルスのHA（またはHN）蛋白質の細胞質側領域を、SIV等のレンチウイルスまたはレトロウイルスのエンベロップ蛋白質の細胞質側領域に置換した蛋白質、およびネガティブ鎖RNAウイルスのHA（またはHN）蛋白質にレンチウイルス等のレトロウイルスのエンベロップ蛋白質の細胞質側領域を付加した蛋白質などでレトロウイルスをシュードタイプ化することにより、ヒト細胞を含む広い細胞に高率で外来遺伝子を導入することが可能となる。欠失させる細胞質側領域の範囲、および付加されるレトロウイルスのエンベロップ蛋白質の細胞質側領域の範囲は特に制限はなく、細胞質側領域の一部または全部を欠失、置換、および/または付加させることができる。

#### 【0037】

このようなウイルスベクターは、さらにネガティブ鎖RNAウイルスの改変されたF蛋白質を含むことができる。例えば、ネガティブ鎖RNAウイルスのF蛋白質の

細胞質側領域を欠失させた蛋白質、および、このような欠失蛋白質にSIV等のレンチウイルスまたはレトロウイルスのエンベロープ蛋白質の細胞質側領域を付加した蛋白質などが用いられ得る。具体的には、例えばF蛋白質細胞質側領域のアミノ酸を欠失させた蛋白質を発現するプラスミドを構築する。欠失させる範囲は特に制限はなく、細胞質側領域の一部または全部を欠失させることができる。例えば0～数個のアミノ酸を残して細胞質側領域を欠失させたF蛋白質は、シュードタイプ化レトロウイルスの製造に好適と考えられる。これらの欠失型F蛋白質に、他のウイルスエンベロープ蛋白質（例えばレンチウイルスエンベロープ蛋白質）の細胞質側領域の一部または全部を付加することにより、F蛋白質の細胞質側領域を他のペプチドに置換した蛋白質をウイルスの製造に用いることができる。例えば、SIVのエンベロープ蛋白質の細胞質側領域の5'側より11アミノ酸を付加した蛋白質などを例示することができる。このように本発明は、ネガティブ鎖RNAウイルスのF蛋白質であって、該蛋白質の天然型の細胞質側領域の一部または全部が、置換、欠失、および/または付加により改変されている蛋白質をさらに用いてシュードタイプ化ウイルスを製造する方法にも関する。特に本発明は、F蛋白質の細胞質側領域が、レンチウイルスを含むレトロウイルスのエンベロープ蛋白質の細胞質側領域の一部または全部と置換されている蛋白質をさらに有しているシュードタイプ化ウイルスを製造する方法にも関する。

#### 【0038】

また、ウイルスエンベロープ蛋白質の細胞外領域を、細胞に接着する活性を持つ他の膜蛋白質、接着因子、リガンド、受容体等の蛋白質、抗体またはその断片に置換したキメラ蛋白質などを用いて、広範な組織または特定の組織を標的として感染するベクターを作り出すこともできる。

#### 【0039】

本発明のウイルスの製造方法は、特にレトロウイルスベクターの製造に好適である。レトロウイルスとは、(+)センス鎖RNAをゲノムに持ち、逆転写酵素を有することを特徴とするウイルスで、標的細胞に感染すると、逆転写酵素により自身のRNAゲノムをDNAに変換して標的細胞の染色体にこのDNAを組み込むウイルスの総称である。レトロウイルスは野生型レトロウイルスの改変体であってもよく、

ウイルス粒子中に含まれているRNAがレトロウイルスのゲノムRNAの少なくとも一部の配列を含んでおり、そのRNAが、ウイルス粒子形成の際に、レトロウイルスのウイルス蛋白質の働きにより、その配列に依存してウイルス粒子中に取り込まれてできる感染性ウイルス粒子であればよい。より具体的には、レトロウイルスのゲノムRNAには、ウイルス粒子への取り込みに必要なパッケージングシグナル配列が含まれている。両端にLTRを持ち、このシグナル配列を含むようなRNAを転写させることにより、レトロウイルスのウイルス蛋白質の存在下、このRNAを持つウイルス粒子が形成される。

#### 【0040】

本発明においてレトロウイルスベクターは、オンコウイルスに由来するものが含まれる。「オンコウイルス」とは、オンコウイルス亜科 (Oncovirus) に属するレトロウイルスを指す。オンコウイルスには、肉腫ウイルス、白血病ウイルス、および乳癌ウイルスなど、発癌に関連するレトロウイルスが含まれる。例えば、モロニーマウス白血病ウイルス (Moloney Murine Leukaemia Virus; MoMLV) は、もっとも初期に開発されたレトロウイルスベクターの1つであり、これまでに多くの改良がなされ広く用いられている。MoMLVをネガティブ鎖RNAウイルスのHA (またはHN) 蛋白質などのシアル酸結合蛋白質でシュードタイプ化したウイルスベクターは本発明により好適に製造することができる。また、マウス幹細胞ウイルス (Murine Stem Cell Virus; MSCV) も、特に血球系・造血系細胞および胎児性幹細胞などに対する遺伝子導入のためのベクターとして好適に用いられる。例えばネガティブ鎖RNAウイルスのヘマグルチニン活性を持つエンベロープ蛋白質等を用いてシュードタイプ化したMSCVを用いることにより、造血幹細胞を含む骨髓CD34陽性細胞に効率的に遺伝子を導入することができる。

#### 【0041】

また、本発明においてレトロウイルスベクターは、レンチウイルスに由来するものが含まれる。レンチウイルスとは、レンチウイルス亜科 (Lentivirus) に属するレトロウイルスを指す。レンチウイルスには、ヒト免疫不全ウイルス (human immunodeficiency virus; HIV) (例えばHIV1またはHIV2)、サル免疫不全ウイルス (simian immunodeficiency virus; SIV)、ネコ免疫不全ウイルス (FIV

)、マエディ・ビスナウイルス、ウマ伝染性貧血ウイルス (EIAV)、ヤギ関節炎脳炎ウイルス (CAEV) などが含まれる。レトロウイルスベクターは、所望の株およびサブタイプに由来するものであってよい。例えば HIV-1 としては、全てのメジャー (M) サブタイプ (A から J を含む)、N および outlier (O) が含まれる (Hu, D. J. et al., JAMA 1996; 275: 210-216; Zhu, T. et al., Nature 1998, 5; 391(6667): 594-7; Simon, F. et al., Nat. Med. 1998, 4(9): 1032-7)。SIV 単離株としては、SIVagm、SIVcpz、SIVmac、SIVmnd、SIVsm、SIVsyk 等が例示できる。

#### 【0042】

レンチウイルスの利点の 1 つは、非分裂細胞に対しても感染し、宿主細胞の染色体へウイルスゲノムを組み込む性質を持つことである。これには gag および vpr にコードされている核移行シグナルやインテグラーゼが重要な働きをしているものと考えられている。この性質を利用し、レンチウイルスをベースとしたウイルスベクターを本発明に従って製造すれば、生体内組織の非分裂細胞、種々の組織の幹細胞のようにほとんど分裂しない細胞へも遺伝子を導入し、長期間の遺伝子発現が可能となるベクターを効率良く製造することができる。

#### 【0043】

レンチウイルスの中でもっとも早くベクター化の試みが行われたのはヒト免疫不全ウイルス Human Immunodeficiency Virus (HIV) であり、本発明の方法においても好適に適用することができる。また、他の SIV、ネコ免疫不全ウイルス Feline Immunodeficiency Virus (FIV) (Poeschla, E. M. et al., Nature Medicine, 4(3), 354-7, 1998) やヤギ関節炎脳炎ウイルス Caprine Arthritis Encephalitis Virus (CAEV) (Mselli-Lakhal, L. et al., Arch. Virol., 143(4), 681-95, 1998)、ウマ伝染性貧血ウイルス (EIAV)、ウシ免疫不全ウイルス (BIV) をベースとしたベクターの開発が行われている。これらのベクターを本発明のベクターの製造方法に適用することも可能である。

#### 【0044】

サル免疫不全ウイルス (Simian Immunodeficiency Virus, SIV) はサルにおける HIV 類似ウイルスとして発見され、HIV とともに Primates Lentivirus グループ

を形成している（井戸栄治，速水正憲，サル免疫不全ウイルスの遺伝子と感染・病原性，蛋白質 核酸 酵素：Vol.39, No.8, 1994）。このグループはさらに大きく4つのグループに分類され、1) ヒトにおいて後天性免疫不全症候群（acquired immune deficiency syndrome, AIDS）の原因となるHIV-1とチンパンジーより分離されたSIVcpzを含むHIV-1グループ、2) スーティーマンガベイ Cercocebus atys より分離されたSIVsmmとアカゲザル Macaca mulatta より分離されたSIVmac、およびヒトに対し低頻度ではあるが病原性を示すHIV-2（Jaffar, S. et al., J. Acquir. Immune Defic. Syndr. Hum. Retrovirol., 16(5), 327-32, 1997）よりなるHIV-2グループ、3) アフリカミドリザル Cercopithecus aethiops から分離されたSIVagmに代表されるSIVagmグループ、4) マンドリル Papio sphinx から分離されたSIVmndに代表されるSIVmndグループからなっている。

#### 【0045】

このうち、SIVagmおよびSIVmndでは自然宿主における病原性の報告はなく（Ohta, Y. et al., Int. J. Cancer, 15, 41(1), 115-22, 1988; Miura, T. et al., J. Med. Primatol., 18(3-4), 255-9, 1989; 速水正憲，日本臨床，47, 1, 1989）、特に本実施例で用いたSIVagmの一種であるTYO-1株は自然宿主でも、カニクイザル Macaca fascicularis、アカゲザル Macaca mulatta に対する実験感染でも病原性を示さないことが報告されている（Ali, M. et al, Gene Therapy, 1(6), :367-84, 1994; Honjo, S et al., J. Med. Primatol., 19(1), 9-20, 1990）。SIVagmのヒトに対する感染、発症については報告がなく、ヒトに対する病原性は知られていないが、一般に霊長類におけるレンチウイルスは種特異性が高く、自然宿主から他種に感染、発症した例は少なく、その発症も低頻度あるいは進行が遅いという傾向がある（Novembre, F. J. et al., J. Virol., 71(5), 4086-91, 1997）。従って、SIVagm、特にSIVagm TYO-1をベースとして作製したウイルスベクターは、HIV-1や他のレンチウイルスをベースとしたベクターと比べて安全性が高いと考えられ、本発明において製造されるウイルスとして好適である。

#### 【0046】

また、本発明においてレトロウイルスベクターは、スプーマウイルス（Spumav



irus) に由来するものが含まれる。スプーマウイルスには、例えばフォーミーウイルス (Foamyvirus) が含まれる (DE4318387; W09607749; Virology (1995) 210, 1, 167-178; J. Virol. (1996) 70, 1, 217-22)。フォーミーウイルスに由来するベクターは、ヒト細胞への外来遺伝子導入、特に遺伝子治療および組換えワクチンの投与などに利用され得る。

#### 【0047】

本発明においてレトロウイルスベクターは、LTR (long terminal repeat) に改変を加えることもできる。LTRはレトロウイルスに特徴的な配列であり、ウイルスゲノムの両端に存在している。5' LTRはプロモーターとして働き、プロウイルスからのmRNAの転写を促す。したがって、ウイルスベクターに取り込ませるRNAを発現するベクター (本発明においてこれをジーントランスファーベクターと呼ぶ) の5' LTRのプロモーター活性をもつ部分を別の強力なプロモーターと置換すれば、ジーントランスファーベクターからのmRNA転写量が増大し、パッケージング効率が上昇、ベクター力価を上昇させることが期待できる。さらに、例えばレンチウイルスの場合、5' LTRはウイルス蛋白質tatによる転写活性の増強を受けることが知られており、5' LTRをtat蛋白質に依存しないプロモーターに置換することで、ウイルスのパッケージングに必要なウイルス遺伝子を発現するベクター (本発明においてこれをパッケージングベクターと呼ぶ) からtatを削除することが可能となる。また、細胞に感染し細胞内に侵入したウイルスRNAは逆転写された後、両端のLTRを結合させた環状構造となり、結合部位とウイルスのインテグラーゼが共役して細胞の染色体内にインテグレートされる。プロウイルスから転写されるmRNAは5' LTR内の転写開始点より下流から 3' LTRのpolyA配列までであり、5' LTRのプロモーター部分はウイルス内にパッケージングされない。したがって、プロモーターを置換したとしても標的細胞の染色体に挿入される部分には変化が無い。以上のことから、5' LTRのプロモーターの置換は、より高力価で安全性の高いベクターを作成することにつながると考えられる。従って、ジーントランスファーベクターの5' 側プロモーターの置換を行い、パッケージングされるベクターの力価を上昇させることができる。

#### 【0048】

また、3' LTRの配列を部分的に削除し、標的細胞から全長のベクターmRNAが転写されることを防止するSelf Inactivating Vector (SINベクター) (自己不活性化型ベクター) の作成により、安全性を上昇させることも可能である。標的細胞の染色体に侵入したレンチウイルスのプロウイルスは、3' LTRのU3部分を5' 端に結合した形となる。したがってジーントランスファーベクターは、標的細胞の染色体では5' 端にU3が配置され、そこからジーントランスファーベクター全体のRNAが転写されることになる。仮に、標的細胞内にレンチウイルスあるいはその類似の蛋白質が存在した場合、ジーントランスファーベクターが再びパッケージングされ、他の細胞に再感染する可能性がある。また3' LTRのプロモーターにより、ウイルスゲノムの3' 側に位置する宿主由来の遺伝子が発現されてしまう可能性がある (Rosenberg, N., Jolicoeur, P., Retroviral Pathogenesis. Retroviruses. Cold Spring Harbor Laboratory Press, 475-585, 1997) 。この現象はレトロウイルスベクターにおいてすでに問題とされ、回避の方法としてSINベクターが開発された (Yu, S. F. et al., Proc. Natl. Acad. Sci. U S A, 83 (10), 3194-8, 1986) 。ジーントランスファーベクター上の3' LTRのU3部分を欠失させることにより、標的細胞内では5' LTRや3' LTRのプロモーターが無くなるため、全長のRNAや宿主遺伝子の転写が起こらない。そして、内部プロモーターからの目的遺伝子の転写のみが行われることになり、安全性が高く、高発現のベクターとなることが期待される。このようなベクターも、本発明の方法に従って製造することが可能である。SINベクター製造のためのジーントランスファーベクターの構築は公知の方法に従えばよい (W001/92508) 。

#### 【0049】

レトロウイルスの産生には、宿主細胞でパッケージングシグナルを有するジーントランスファーベクターDNAを転写させ、gag, pol蛋白質およびエンベロープ蛋白質の存在下でウイルス粒子を形成させる。ジーントランスファーベクターDNAは、プラスミドのようなDNAベクターであってもよく、あるいはパッケージング細胞の染色体DNAに組み込まれていてもよい。ジーントランスファーベクターDNAにコードされるパッケージングシグナル配列は、この配列により形成される構造を保持できるように可能な限り長く組み込むことが好ましい一方で、該ベクター

DNA上のパッケージングシグナルと、gag, pol蛋白質を供給するパッケージングベクターとの間で起こる組み換えによる野生型ウイルスの出現頻度を抑制するためにはこれらベクター間の配列の重複を最小限にする必要がある。従って、ジーントランスファーベクターDNAの構築においては、パッケージング効率および安全性の両者を満足させるために、パッケージングに必要な配列を含むできる限り短い配列を用いることが好ましい。

#### 【0050】

パッケージングシグナルとしては、パッケージングベクターが導入された細胞によりパッケージングされる限り制限はなく、パッケージングベクターの種類に合わせて、レトロウイルス由来、レンチウイルス由来、免疫不全ウイルス由来のシグナル配列などが用いられる。

#### 【0051】

例えば、SIVagm由来のパッケージングベクターの場合は、HIVベクターはパッケージングされないため、用いられるシグナル配列の由来としてはSIVのみに制限されると考えられる。但し、HIV由来のパッケージングベクターを用いた場合、SIV由来のジーントランスファーベクターもパッケージングされるので、組換えウイルスの出現頻度を低下させるために、異なるレンチウイルス由来のジーントランスファーベクターとパッケージングベクターとを組み合わせるベクター粒子を形成させることが可能であると考えられる。この場合、霊長類のレンチウイルスの間の組み合わせ（例えば、HIVとSIV）であることが好ましい。

#### 【0052】

ジーントランスファーベクターDNAでは、gagタンパク質が発現しないように改変されていることが好ましい。ウイルスgagタンパク質は、生体にとって異物として認識され、抗原性が現れる可能性がある。また、細胞の機能に影響を及ぼす可能性もある。gagタンパク質を発現しないようにするためには、gagの開始コードの下流に塩基の付加や欠失等によりフレームシフトするように改変することができる。また、gagタンパク質のコード領域の一部を欠失させることが好ましい。一般にウイルスのパッケージングには、gagタンパク質のコード領域の5'側が必要であるとされている。従って、ジーントランスファーベクターにおいては、

gagタンパク質コード領域のC末側を欠失していることが好ましい。パッケージング効率に大きな影響を与えない範囲でできるだけ広いgagコード領域を欠失させることが好ましい。また、gagタンパク質の開始コドン(ATG)をATG以外のコドンに置換することも好ましい。置換するコドンは、パッケージング効率に対する影響が少ないものを適宜選択する。これにより構築されたパッケージングシグナルを有するジーントランスファーベクターDNAを、適当なパッケージング細胞に導入することにより、ジーントランスファーベクターDNAの転写産物を取りこまれたウイルスベクターを生産させることができる。生産させたウイルスベクターは、パッケージング細胞の培養上清等から回収することができる。

#### 【0053】

パッケージング細胞に使われる細胞としては、一般的にウイルスの産生に使用される細胞株であれば制限はない。ヒトの遺伝子治療用に用いることを考えると、細胞の由来としてはヒトまたはサルが適当であると考えられる。パッケージング細胞として使用されうるヒト細胞株としては、例えば293細胞、293T細胞、293 EBNA細胞、SW480細胞、u87MG細胞、HOS細胞、C8166細胞、MT-4細胞、Molt-4細胞、HeLa細胞、HT1080細胞、TE671細胞などが挙げられる。サル由来細胞株としては、例えば、COS1細胞、COS7細胞、CV-1細胞、BMT10細胞などが挙げられる。また、既存のパッケージング細胞を用いることも可能である。パッケージング細胞としては、例えばBosc23細胞、PE501細胞などが挙げられる。

#### 【0054】

ベクターが保持する外来遺伝子としては特に制限はなく、蛋白質をコードする核酸であってもよく、また、例えば、アンチセンスまたはリボザイムなどのタンパク質をコードしない核酸であってもよい。

#### 【0055】

近年、遺伝子治療の標的として造血幹細胞をはじめとする各種の幹細胞が注目されている(花園豊, Molecular Medicine, Vol.36, No.7, 1999)。ネガティブ鎖RNAウイルスのヘマグルチニン活性を持つエンベロープ蛋白質を持つシュードタイプレトロウイルスベクターは、ヒト骨髓由来CD34陽性細胞に対し高い効率で遺伝子を導入することができる(W001/92508)が、このCD34陽性細胞は造血幹細胞

胞を含む分画として近年注目されている。CD34陽性細胞は、メチルセルロースを含む培地を用いたコロニーアッセイにおいて多分化能を持つこと (Kirshenbaum, A. S. et al., J. Immunol., 148(3), 772-7, 1992) や、複合免疫不全系統であるNOD / SCIDマウスにCD34陽性細胞を移植するとマウス骨髄に生着し造血系の再建が認められること (Larochelle, A. et al., Nat. Med., 2(12), 1329-37, 1996) が報告されており、少なくともCD34陽性細胞分画中に非常に未熟で幹細胞に近い状態の細胞が存在すると考えられている。また、CD34陽性細胞中の造血幹細胞は非分裂状態であり、一般にレトロウイルスベクターでは遺伝子導入効率が低い (Kiem, H. P. et al., Curr. Opin. Oncol., 7(2), 107-14, 1995) 、ネガティブ鎖RNAウイルスのヘマグルチニン活性を持つエンベロープ蛋白質を持つシュードタイプ化ベクターにより感染効率を大幅に改善することが可能であると考えられる。特に、HIVやSIVベクターなどのレンチウイルスベクターを用いれば、非分裂細胞に対する遺伝子導入効率はさらに上昇することが期待される。本発明のシアル酸結合活性を持つ蛋白質でシュードタイプ化されたレトロウイルスベクターの製造方法は、血球系または造血系細胞への遺伝子導入のためのベクターの製造において有用である。本発明は、本発明のウイルスの製造方法により、血球系または造血系細胞への遺伝子導入ベクターを製造する方法に関する。また本発明は、本発明の方法で製造されたベクターを血球系または造血系細胞に接触させる工程を含む、血球系または造血系細胞へ遺伝子を導入する方法、および血球系または造血系細胞への遺伝子導入のための、本発明の方法で製造されたベクターの使用に関する。血球系および造血系細胞に対する外来遺伝子導入の評価は、例えば既知の様々な表面抗原に対する抗体を用いたフローサイトメーターによる解析やコロニーアッセイ、造血系を破壊したマウスなどに造血細胞を移植して行う造血系再構築などにより検証することが可能である。

#### 【0056】

シアル酸結合活性を持つ蛋白質によりシュードタイプ化されたレトロウイルスベクターは、血球系細胞および造血系細胞に対する高率な遺伝子導入が可能であるので、ADA欠損症 (Blaese, R. M., Pediatr. Res., 33(1 Suppl), S49-53, 1993) 、血友病 (Kay, M. A. et al., Proc. Natl. Acad. Sci. U S A, 96(18), 9

973-5, 1999)、および Fanconi 貧血症などの血液細胞を対象とした遺伝子治療において有用である。投与は例えばエクスピボ法により行うことができる。

### 【0057】

具体的には、本発明の方法で製造されるベクターが適用可能な造血細胞系を対象とした遺伝子治療としては、例えば、腫瘍を化学抗癌剤治療するときの幹細胞の保護を目的とした薬剤耐性遺伝子MDR1の利用 (Licht, T. et al., Gene Ther. (2000) 7, 4, 348-58)、ファンコーニ貧血症のための正常FANCC遺伝子の導入 (Liu, J. M. et al., Hum. Gene Ther. (1999) 10, 14, 2337-46)、エクスピボ幹細胞増殖を補助するためのサイトカインの組み合わせ (トロンボポエチン、インターロイキン6および11、並びに Flt-3リガンド) の導入 (W099/07831)、血球減少症を治療するための Flt-3アゴニストなどのキメラ蛋白質の発現 (W098/46750)、 $\beta$ セラミアを治療するためのヒト  $\beta$  グロビン遺伝子の導入 (W0974114 1)、IL-6依存的な多発性骨髄腫治療のためのIL-6アンタゴニストと自殺遺伝子の発現の組み合わせ治療 (独国特許 DE19704979)、造血因子の組み合わせによる受容体アゴニスト [インターロイキン (GM-CSF, G-CSF-Ser17, M-CSF, エリスロポエチン, IL-1, IL-14, IL-2, IL-5, IL-6, IL-7, IL-8, IL-9, IL-10, IL-11, IL-12, IL-13, IL-15)、白血病抑制因子 (LIF)、flt3/flk2リガンド、ヒトソマトトロピン、B細胞増殖因子、B細胞分化因子、赤血球分化因子 (EDF)、または幹細胞因子 (SCF)] (W097/12985)、幹細胞培養および造血疾患の遺伝子治療に用いられるc-mpl受容体アゴニスト (W097/12978)、ヒト造血始原細胞の増殖に用いられるIL-6およびIL-6可溶性受容体の融合蛋白質 (Nat. Biotechnol. (1997) 15, 2, 142-45)、造血始原細胞の増殖に用いられるIL-6スーパーアゴニストおよびスーパーアンタゴニスト (W096/18648)、血液疾患の治療に用いられるFactor-X (J. Cell. Bioche. (1995) Suppl. 21A, 410)、ヒト造血始原細胞の増殖に用いられる幹細胞因子、IL-6、および可溶性IL-6受容体複合体 (Gene Ther. (1995) 2, 9, 694)、RNAウイルスを標的とするリボザイムおよびHIV感染防御および細胞内免疫に有用なアンチセンスおよび/またはRNAデコイ (W096/22368) などの遺伝子導入が挙げられる。本発明は、これらのいずれかまたはその組み合わせをコードするウイルスベクターであって、シアル酸結合膜蛋白質をエンベ

ロープに含むウイルスベクターの製造方法に関する。

#### 【0058】

また本発明の方法で製造されるベクターは、鼻腔の粘膜上皮細胞および肺の気管支粘膜上皮細胞など、粘液を持つ細胞に対する感染能力が高い。気管上皮などの粘膜細胞は、従来のウイルスベクターでは遺伝子導入が困難であり、導入に際して物理的障害を取り除く処理がされており、例えばVSV-GシュードタイプHIVベクターを用いた遺伝子導入では二酸化硫黄などにより傷害しないと十分な導入効果が認められていない (L. G. Johnson et al., Gene Therapy, 7, 568-574, 2000)。本発明の方法で製造されるベクターは、従来では遺伝子導入が困難であった粘液を持つ細胞に対して、細胞や組織を傷害することなく高い効率で遺伝子を導入することが可能である (W001/92508)。本発明は、本発明のウイルスの製造方法により、粘液を有する細胞への遺伝子導入ベクターを製造する方法に関する。また本発明は、本発明の方法で製造されたベクターを粘液を有する細胞に接触させる工程を含む、粘液を有する細胞へ遺伝子を導入する方法、および粘液を有する細胞への遺伝子導入のための、本発明の方法で製造されたベクターの使用に関する。粘液を有する細胞としては、特に粘膜上皮細胞、具体的には、例えば鼻腔または肺の気管支の粘膜上皮細胞などが挙げられる。

#### 【0059】

具体的な適用例としては、例えば、抗原提示細胞 (APC) の濃度が高いことを利点として応用した皮膚・粘膜への遺伝子 (IL-2, IFN- $\gamma$ , TGF- $\beta$  等) 導入による免疫誘導 (W095/05853)、遺伝子の経口的粘膜投与によるロタウイルスワクチン (J. Virol. (1998) 72, 7, 5757-61)、自己免疫疾患を治療するための粘膜投与 (W09746253)、感染予防のための粘膜投与 (W096/21356)、性病またはパピローマウイルス感染による子宮頸癌を予防するための、女性性器粘膜への遺伝子投与 (Infect. Immun. (1998) 66, 1, 322-29)、粘膜投与による投与の容易性と安全性の向上 (Proc. Am. Assoc. Cancer Res. (1995) 36, 86 Meet., 418) などが挙げられる。

#### 【0060】

本発明における組み換えレトロウイルスベクターの製造方法は、具体的には、

例えば、(a) レトロウイルスのゲノムRNAを転写し、かつgag蛋白質、pol蛋白質、およびシアル酸結合活性を有する膜蛋白質を発現する細胞（ウイルス産生細胞）を提供する工程、および(b) グラム陽性菌由来ノイラミニダーゼの存在下で該細胞を培養し、産生されたウイルスを回収する工程を含む方法である。レトロウイルスのゲノムRNAは、ウイルス粒子中にパッケージングされ、標的細胞の染色体に組み込まれる機能を有する限り、野生型ウイルスのゲノムから改変されていてよく、例えば両端にLTRを持ち、内部にパッケージングシグナル配列を含むRNAであってよい。ゲノムRNAには、所望の遺伝子を組み込むことができる。組み込まれた外来遺伝子は、LTRのプロモーター活性により発現させることもできるし、ゲノムの内部に他のプロモーターを組み込んでそのプロモーターから発現させてもよい。

#### 【0061】

ウイルス産生細胞で発現させるgagおよびpol蛋白質、およびゲノムRNAは、これらがアセンブルされてウイルスが形成される限り、異なるウイルスに由来するものであってもよい。例えば、HIV由来のウイルス蛋白質を発現するパッケージング細胞を用いて、SIVのゲノムRNAをパッケージングすることができる。このとき、パッケージング細胞にシアル酸結合活性を持つ膜蛋白質を一時的あるいは持続的に発現させる。グラム陽性菌由来ノイラミニダーゼの存在下で上記のウイルス産生細胞を培養することにより、シアル酸結合活性を持つ膜蛋白質をエンベロープに持つレトロウイルスが培養液中に放出される。この培養物あるいは培養上清を回収することにより、産生されたウイルスを得ることができる。

#### 【0062】

例えば本発明におけるレトロウイルスベクターの製造は、次のように行うことができる。但し、以下に示すウイルスベクターの製造方法の具体例は一例であり、当業者であれば適宜変更することが可能である。

#### 【0063】

組み換えウイルスのシュードタイプ化に用いるウイルスエンベロープ蛋白質をプラスミドベクターを用いて発現させる場合には、例えば該蛋白質をコードする遺伝子をpCAGGS (Niwa, H. et al., Gene: 108, 193-200, 1991) 等に組み込ん



で発現ベクターを構築する。このベクターに、例えばネガティブ鎖RNAウイルス（インフルエンザウイルスまたはセンダイウイルスなど）のHA（またはHN）蛋白質、F蛋白質、M蛋白質をコードする遺伝子を組み込む。例えば、インフルエンザウイルス（H1N1）由来ヘマグルチニン蛋白（HA）発現プラスミドの構築であれば、プラスミドpDREF HisD (Microbiol. Immunol., 44(8), 677-685, 2000) をテンプレートとし、適当なプライマー対を用いたPCRによりHA蛋白質のORFを増幅する。増幅断片をNotIにより切断後、pCAGGSにXhoI-NotI部位を付加したベクターのNotI部位に組み込む。これにより、HA蛋白発現プラスミドpCAGGS-HAが得られる。また、センダイウイルスのエンベロップ蛋白質発現プラスミド等であれば、例えばセンダイウイルスZ株の全長ゲノムDNA pSeV18+b(+) (Hasan, M. K. et al., 1997, J. General Virology 78: 2813-2820) から切り出した F、HN、およびM蛋白遺伝子をpCAGGSのXhoIサイトに導入することにより、センダイウイルス由来F、HNおよびM蛋白発現ベクター（それぞれ pCAGGS F、pCAGGS HN、およびpCAGGS M と称す）を作製することができる。

#### 【 0 0 6 4 】

レトロウイルス産生であれば、ウイルス産生細胞としては、例えばヒト胎児腎細胞由来細胞株293T細胞 (Proc. Natl. Acad. Sci. USA, vol.90, pp. 8392-8396, 1993) を用いることができる。293T細胞は、例えば10%非動化ウシ胎児血清を含むダルベッコ改変イーグル培地 (DMEM, GibcoBRL) で培養する。DNAベクターのトランスフェクションは、LIPOFECTAMINE PLUS (GibcoBRL) などを用いて添付説明書に従って行うことができる。一例を挙げれば、293T細胞を6ウェルのプラスチックプレートへ1ウェルあたり $1 \times 10^6$ 個の細胞密度でまき、炭酸ガスインキュベーター中 (37℃、10%炭酸ガス存在下) で48時間培養する。トランスフェクションの30分前に培養液を1ウェルあたり800  $\mu$ lの1%ウシ血清アルブミン (GibcoBRL) を含むD-MEM (GibcoBRL) に培地交換し培養を続ける。

#### 【 0 0 6 5 】

ジーントランスファーベクターとしては特に制限されないが、例えばマウス幹細胞ウイルス (Murine Stem Cell Virus; MSCV) (CLONTECH社製) (R. G. Hawley et al., Proc. Natl. Acad. Sci. USA 93: 10297-10302 (1996); R. G. Hawley

ey et al., Gene Therapy 1: 136-138 (1994)) を用いることができる。ここに、発現させたい所望の遺伝子を組み込んで使用する。トランスフェクションに使用するDNA量は、例えば1 ウェルあたり 700ng のジーントランスファーベクターと、300ngのパッケージングベクター (pCL-Eco, pCL-Ampho (MuLV 4070A)、共にIM GENEX社) (Naviaux, R. K. et al., J. Virol. 70: 5701-5705 (1996)) とを使用し、それらに加えて200ngの上記ネガティブ鎖RNAウイルスのエンベロープ蛋白発現ベクターを単独あるいは任意に組み合わせて使用することができる。DNAを100  $\mu$  lのOptiMEMに溶解後に6  $\mu$  lのPLUS reagent (GibcoBRL) を加えて攪拌後15分室温で静置する。DNAとPLUS reagent (GibcoBRL) との混合液に、100  $\mu$  lのOptiMEMで希釈した4  $\mu$  lのLIPOFECTAMINEを添加して攪拌後さらに15分室温で静置する。以上の方法により調製したDNAとLIPOFECTAMINEとの複合体を含む溶液を6 ウェルプレートで培養している293T細胞へ滴下してゆるやかに攪拌した後に炭酸ガスインキュベーター中 (37°C, 10%炭酸ガス存在下) で3時間培養する。培養後1 ウェルあたり 1mlの1%ウシ血清アルブミン (GibcoBRL) と15  $\mu$  g/mlの濃度のトリプシン (GibcoBRL) を含むDMEM (GibcoBRL) を添加し、炭酸ガスインキュベーター中 (37°C, 10%炭酸ガス存在下) で24時間培養する。その後1 ウェルあたり2 mlの1%ウシ血清アルブミン、5  $\mu$  g/mlのトリプシン (Gibco BRL) および0.01 unitのグラム陽性菌由来ノイラミニダーゼを含むDMEMに培地交換し、24時間培養後に培養上清を回収、0.45  $\mu$  mのポアサイズのフィルター (DISMIC-25CS フィルター、ADVANTECなど) で濾過してベクター溶液を得ることができる。グラム陽性菌由来ノイラミニダーゼは、例えば放線菌由来NA、具体的には *M. viridifaciens* 由来NAを用いることができる。NAの用量は適宜調整することができる。ネガティブ鎖RNAウイルスのヘマグルチニン活性を持つエンベロープ蛋白質でシュードタイプ化したレトロウイルスは、肺の気管支粘膜上皮細胞など粘液を持つ細胞に対して高い感染能力を持つことから。このようにして製造されるベクターは、粘液を持つ細胞への遺伝子導入に有用である。このようにして製造されるウイルスベクターは、ヒト骨髄CD34<sup>+</sup>細胞およびCD34<sup>-</sup>細胞の両方に遺伝子導入能を持っていることから、造血系細胞に対する遺伝子導入に有用である。

【0066】

モロニーマウス肉腫ウイルス (Moloney murine sarcoma virus) をベースにしたシュードタイプレトロウイルスベクターも、本発明において好適に製造される。また、エンベロープ蛋白質としてVSV-Gをさらに含むベクターを作製することもできる。例えば、ジーントランスファーベクターとして、上記のpMSCV EGFP、またはモロニーマウス肉腫ウイルス (Moloney murine sarcoma virus) 由来のLTRの制御下にlacZを発現するpLZRNL (Yee, J.-K. et al., Methods In Cell Biology, vol. 43, pp.99-112 (1994); Xu, L. et al., Virology 171, 331-341 (1989)) を用いて、以下に示すように様々なエンベロープ蛋白質でシュードタイプ化したレトロウイルスベクターを作製することが可能である。

#### 【0067】

293T細胞 (ヒト胎児腎臓由来細胞株) は、10%非働化仔ウシ血清 (BIO WHITTAKER) を含むDMEM高グルコース (Gibco BRL) を用いて、37℃、10%CO<sub>2</sub>で培養する。この293T細胞を6ウェルのプラスチックカルチャープレートへ1ウェルあたり5×10<sup>5</sup>個でまき、37℃、10% CO<sub>2</sub>で48時間カルチャーする。培養液を1ウェルあたり800μlの1%ウシ血清アルブミンを含むDMEMに置換してトランスフェクションに用いる。1ウェルあたりジーントランスファーベクター (pMSCV EGFPまたはpLZRNL) 700ngに加えて、VSV-G発現プラスミドpVSV-G (Indiana血清型株由来)

(Clontech) 100ng、ネガティブ鎖RNAウイルスのHA (またはHN)、F、およびM蛋白発現プラスミド (pCAGGS中) をそれぞれ200ng、並びにマウスレトロウイルス外殻蛋白発現プラスミドpCL-Eco、およびpCL-Ampho (Imgenex) (Naviaux, R. K. et al., J. Virol. 70: 5701-5705 (1996)) 300ngを任意に組み合わせて、100μlのOpti MEMに溶解後、6μlのPLUS Reagent (Gibco BRL) を加えて攪拌、15分間室温で静置する。これに、100μlのOpti MEMで希釈した4μlのLIPOFECTAMINE Reagent (Gibco BRL) を添加して攪拌後さらに室温で15分間静置し、これを上記の293T細胞に滴下して緩やかに攪拌し、37℃、10% CO<sub>2</sub>下で3時間カルチャーする。1ウェルあたり1mlの1%ウシ血清アルブミンおよび15μg/mlのトリプシン

(Gibco BRL) を含むDMEMを加え、37℃、10% CO<sub>2</sub>で、24時間培養、その後1ウェルあたり2 mlの1%ウシ血清アルブミン、5μg/mlのトリプシン (Gibco BRL) および0.01 unitのグラム陽性菌 (例えば放線菌) 由来ノイラミニダーゼを含むDMEM

に培地交換し、24時間培養後に培養上清を回収、 $0.45\mu\text{m}$ のフィルターで濾過してベクター溶液を得る。

#### 【0068】

また、本発明は特にレンチウイルスベクターの製造に好適に適用される。以下に、VSV-Gシュードタイプレンチウイルスベクターの製造方法の一例を示す。

ベクター系の構築には、例えば非病原性のアフリカミドリザル免疫不全ウイルスのクローンであるSIVagm TY0-1株を用いることができる。SIVagm TY0-1を組み込んだプラスミドとしては、例えばpSA212 (J. Virol., vol.64, pp.307-312, 1990) を材料にして構築することができる。ジーントランスファーベクターおよびパッケージングベクターの構築は、公知の文献を参照することができる (W001/92508)。具体的には、ベクター粒子形成に必要な蛋白質を供給するため、gag、pol、tat、rev、vif、vpr / xの各配列をプロモーター下流に配置した発現プラスミド (パッケージングベクター) を構築する。野生型ウイルスの産生を回避するためパッケージングシグナル $\Psi$ およびenvの大部分を除去することが好ましい。gag上流にSD配列、tat / revの第一エクソンの下流にRRE配列を挿入し、パッケージングベクター上のすべての遺伝子が発現しうるようにすることができる。さらに、ベクターのパッケージングに必須ではないと考えらるnefの全配列を除外することができる。

#### 【0069】

ベクター内にパッケージングされるRNAを供給するジーントランスファーベクターには、ゲノム両端のLTR配列、SD、 $\Psi$ 、RREが組み込まれたものを構築する。さらに、ジーントランスファーベクターの5' LTRプロモーター領域を外来のプロモーターと置換してもよい。また、3' LTRの配列を部分的に削除し、標的細胞から全長のベクターmRNAが転写されることを防止するSelf Inactivating Vector (SINベクター) を作製し、プロモーターとして例えばCMVプロモーターを、その下流に所望の外来遺伝子を組み込む。

#### 【0070】

シュードタイプベクター粒子を形成するための外殻蛋白質供給ベクターとしてVSV-G発現ベクターを用いることができる。例えば、VSV-G供給ベクターとして、

これまでにレトロウイルスベクター、HIVベクターのシュードタイプ化において実績のあるpVSV-Gを使用してもよい (Burns, J. C. (1993) Proc. Natl. Acad. Sci. USA 90: 8033-8037)。

#### 【0071】

以下にその詳細を記載する。

##### <パッケージングベクターの構築>

vifとtat / revの第1エクソンを含む領域 (5337-5770) に相当するDNA断片を適当なプライマー対を用いてpSA212をテンプレートとしたPCRにより得る。PCRプライマーに制限酵素部位であるEcoRI部位を付加することでDNA断片の3'端にEcoRI部位を持つ断片を調節する。PCR断片をBglIIIとEcoRIにより切断した後、アガロースゲル電気泳動とWizard PCR Preps DNA Purification System (Promega) で精製する。以上のようにして得たDNA断片と、gag / pol領域をコードするDNA断片 (XhoI (356) 部位からBglIII (5338) 部位まで) を、pBluescript KS+ (Stratagene) のXhoI-EcoRI部位へライゲーションする。次に、Rev responsive element (RRE) とtat / revの第2エクソンを含む領域 (6964-7993) に相当するDNA断片をPCRで増幅する。テンプレートとしては、例えばpSA212を用い、PCRにより3'端にNotI部位を付加し、EcoRIとNotIで切断後に精製し、gag-tat / revを組み込んだpBluescript KS+のEcoRI-NotI部位へ組み込む。

#### 【0072】

スプライシングドナー (SD) 部位は、この配列を含むDNA断片を合成し、合成時に5'端にXhoI部位、3'端にSalI部位を付加し、上記のgag-RRE-tat / revを組み込んだpBluescript KS+のXhoI部位に組み込む。得られたプラスミドをXhoIとNotIにより切断し、SD- gag-RRE-tat / revを含む断片を精製する。pCAGGS (Gene, vol.108, pp.193-200, 1991) のEcoRI部位にXhoI / NotIリンカーを組み込んだプラスミドを作製し、XhoI-NotI部位に上記のSD- gag-RRE-tat / rev断片を組み込む。以上の方法により得られたプラスミドをパッケージングベクターpCAGGS / SIVagm gag-tat / revとして使用する。

#### 【0073】

##### <ジーントランスファーベクターの構築>

SIVagmTY01由来の5' LTR領域 (8547-9053 + 1-982、5' 端にKpnI部位、3' 端にEcoRI部位を付加)、3' LTRを含む領域 (8521-9170、5' 端にNotI部位とBamHI部位、3' 端にSacI部位を付加)、およびRRE配列 (7380-7993、5' 端にEcoRI部位、3' 端にSacII部位を付加) を適当なプライマー対を用いて、pSA212をテンプレートとしたPCRでそれぞれ増幅する。pEGFPN2 (Clontech) 由来のCMVプロモーター領域 (1-600、5' 端にSacII部位、3' 端にNotI部位を付加) を適当なプライマー対で増幅する。これらのDNA断片の末端を切断、精製後にpBluescript KS+のKpnI-SacI部位に5' LTR→RRE→CMVプロモーター→3' LTRの順でライゲーションし組み込む。レポーター遺伝子として例えばpCMV $\beta$  (Clontech) 由来の $\beta$ ガラクトシダーゼ遺伝子を含むNotI断片をNotI部位へ組み込み、KpnI-SacIで切断して5' LTRから3' LTRまでを含むDNA断片を切り出し、pGL3 ControlベクターのKpnI-SacI部位へ組み込み、ジーントランスファーベクターpGL3C / 5' LTR. U3G2 / RREc / s / CMV F  $\beta$ -gal / WT3' LTRとする。

#### 【 0 0 7 4 】

また、pEGFPC2 (Clontech) 由来のCMVプロモーター領域とEGFPをコードする領域 (1-1330、5' 端にSacII部位、3' 端にNotI部位とBamHI部位と翻訳ストップコドン(付加)を適当なプライマー対を用いてpEGFPC2をテンプレートとしたPCRにより増幅する。4種のPCR断片をそれぞれ制限酵素KpnIとEcoRI、EcoRIとSacII、BamHIとSacI、SacIIとBamHI切断した後に精製し、pBluescript KS+のKpnI-SacIの間に5' LTR→RRE→CMVプロモーターEGFP→3' LTRの順にライゲーションして組み込む(pBS/5' LTR. U3G2/RREc/s/CMVFEGFP/WT3' LTR)。プラスミドpBS/5' LTR. U3G2/RREc/s/CMVFEGFP/WT3' LTR をKpnI-SacIで切断して5' LTR-3' LTRを含むDNA断片を調製し、pGL3 Control (Promega) ベクターのKpnI-SacI部位へ組み込み、ベクター(pGL3C/5' LTR. U3G2/RREc/s/CMVFEGFP/WT3' LTR)を構築する。

#### 【 0 0 7 5 】

##### <5' LTRの改変>

5' LTRのTATAボックスの下流からgag領域 (9039-9170 + 1-982) を含む断片を適当なプライマー対を用いてpSA212をテンプレートとしたPCRで増幅する。サイトメガロウイルス由来のCMV Lプロモーター (pCI (Promega) 由来、1-721) をPC

Rにより増幅する。5' LTRのTATAボックス下流を含む断片と、プロモーターを含む断片とを混合し、これをテンプレートとして、プロモーターの5' 側プライマーとLTRの3' 側プライマーを用いてPCRを行い、プロモーターと5' LTRとのキメラプロモーターのDNA断片を得る。得られたDNA断片をジーントランスファーベクター (pGL3C/5' LTR. U3G2/RREc/s/CMVF  $\beta$ -gal/WT3' LTR) のKpnI-EcoRI部位に組み込む (pGL3C/CMVL. U3G2/RREc/s/CMVF  $\beta$ -gal/WT3' LTR)。同様に、上記のPCRにより得られたDNA断片を、ベクターpGL3C/5' LTR. U3G2/RREc/s/CMVFEGFP/WT3' LTRのKpnI-EcoRI部位にも組み込む (pGL3C/CMVL. U3G2/RREc/s/CMVFEGFP/WT3' LTR)。

#### 【0076】

<3' LTRの改変; SIN (self inactivating vector) ベクターの作製>

3' LTRのU3領域 5' 側 27bp と 3' 側 15bp およびR領域を含むDNA断片を適当なプライマー対を用いてpSA212をテンプレートとしたPCRで増幅する。この断片を、前節で得られたキメラプロモーター導入ジーントランスファーベクターpGL3C/CMVL. U3G2/RREc/s/CMVF  $\beta$ -gal/WT3' LTRのSalI-SacI部位に組み込む (pGL3C/CMVL. U3G2/RREc/s/CMVF  $\beta$ -gal/3' LTR $\Delta$ U3)。同様に、この断片を pGL3C/CMVL. U3G2/RREc/s/CMVFEGFP/WT3' LTRのSalI-SacI部位へも組み込む (pGL3C/CMVL. U3G2/RREc/s/CMVFEGFP/3' LTR $\Delta$ U3)。

#### 【0077】

構築したプラスミドは、定法に従いDH5 $\alpha$  (東洋紡) にトランスフォームし、寒天培地上で培養、出現したコロニーをテンプレートとして、PCR等により構造が正しいことを確認する。確認されたクローンについて、100mlのLB培地で培養し、QIAGEN Plasmid Maxi Kit (QIAGEN) を用いてプラスミドを精製する。

#### 【0078】

<ウイルスベクター回収>

293T細胞を6ウェルのプラスチックカルチャープレートへ1ウェルあたり $5 \times 10^5$ 個でまき、37℃、10% CO<sub>2</sub>で48時間カルチャーする。培養液を1ウェルあたり800 $\mu$ lのOpti MEM (HAを用いた場合は1%BSAを含む) に置換してトランスフェクションに用いる。1ウェルあたり上記のジーントランスファーベクター 600ngおよび上記のパッケージングベクター 300ngに加え、ネガティブ鎖RNAウイルスのHA

(またはHN) およびF蛋白発現プラスミド (pCAGGS中) 100-300ng、VSV-G発現プラスミドpVSV-G (Clontech) 100ng 等のエンベロープ蛋白質発現プラスミドを任意に組み合わせて、100  $\mu$  lのOpti MEMに溶解後6  $\mu$  lのPLUS Reagent (Gibco BRL) を加えて攪拌、15分間室温で静置する。これに、4  $\mu$  lのLIPOFECTAMINE reagent (Gibco BRL) を加えた100  $\mu$  lのOpti MEMを添加し攪拌後さらに室温で15分間静置し、これを上記の293T細胞に滴下して緩やかに攪拌し、37℃、10% CO<sub>2</sub>で3時間カルチャーする。1 ウェルあたり1mlの20%非働化ウシ血清 (HAを用いた場合はウシ血清の代わりに1%BSAおよび5  $\mu$  g/mlのトリプシン) を含むD-MEMを加え、37℃、10% CO<sub>2</sub>で12時間カルチャーした後に、1 ウェルあたり2mlの10%非働化ウシ血清を含むD-MEMに培地交換し、(HAを用いた場合はウシ血清の代わりに1%BSAおよび5  $\mu$  g/mlのトリプシンを含むD-MEMにて *M. viridifaciens*由来NAの存在下で) 24時間培養後に培養上清を回収、0.45  $\mu$  mのフィルターで濾過したものを使用する。

#### 【0079】

##### <SIVagmベクターによる遺伝子導入>

293T細胞を6 ウェルのプラスチックカルチャープレートへ1 ウェルあたり5×10<sup>5</sup>個でまき、37℃、10% CO<sub>2</sub>で48時間カルチャーする。カルチャーより培養液を除去し、ベクター液にポリブレン (Sigma) を最終濃度8  $\mu$  g / mlで添加したものを1ml重層し、37℃、10% CO<sub>2</sub>で3時間カルチャーし、ベクターを感染させる。3時間後に培養液を1ml加え、1日後に培養液を交換する。さらに1日後に、 $\beta$ -Gal発現ベクターの場合は、 $\beta$ -Gal Staining Kit (Invitrogen) を用いてX-galを基質とした染色を行い、標的細胞での $\beta$ ガラクトシダーゼの発現を光学顕微鏡による検鏡で確認する。EGFP発現ベクターの場合は、蛍光顕微鏡により解析する。

#### 【0080】

##### <ベクターの力価測定>

ベクターの力価測定は、ベクター液1mlによって遺伝子導入される細胞の数によって計算する。293T細胞を1×10<sup>6</sup> / plateで6 ウェルカルチャープレートにまき、48-72時間カルチャーする。ここに、上記と同様の方法で段階的に希釈したベクター液を感染、感染後48時間後にX-gal染色を行う。光学顕微鏡で200倍の倍



率で検鏡、例えば視野内の遺伝子導入細胞数を測定し、3視野の平均を求め、視野の面積とプレートの面積よりもとめた係数854.865をかけることにより力価の算出を行う。これにより算出されるウイルスベクターの力価の単位は Transducing Unit (T.U.) / mlと定義される。

#### 【0081】

このようにして作製されるSIVagmベクターは、培養細胞および生体内外の細胞に対して高い遺伝子導入能を持つ。上記のような、ジーントランスファーベクター、パッケージングベクター、およびエンベロップ発現ベクターという複数種類の独立したプラスミドのコトランスフェクションによるベクターのパッケージングにおいては、野生型ウイルスの再構成の確率は極めて低いと考えられる。また、ベースであるSIVagmTYO-1は、自然感染および実験的な感染の両方において病原性を示さないことが確認されている (Ohta, Y. et al., Int. J. Cancer 41, 115-22, 1988; Miura, T. et al., J. Med. Primatol. 18(3-4), 255-9, 1989; Honjo, S. et al., J. Med. Primatol. 19(1), 9-20, 1990)。さらに、一般にレンチウイルスは種特異性が強く、他種の動物では病原性が低い傾向がある (Novembre, F. J. et al., J. Virol. 71(5), 4086-91, 1997) ことからベクターの安全性は高いものと考えられる。

#### 【0082】

このベクター産生系は、構築過程においてパッケージングベクター上からはパッケージングシグナル配列が削除されているため、ウイルス蛋白質をコードするRNAは粒子内にパッケージングされない。また、rev蛋白質はRREに結合し、RNAの細胞質への輸送やスプライシングの抑制などを行うことでウイルス蛋白質の発現、全長RNAのウイルス内への取り込みが行われるため、パッケージングベクターおよびジーントランスファーベクターの双方にRREを組み込んだことにより、パッケージングベクターのmRNAスプライシングが制御され、すべての遺伝子の発現が可能となると考えられる。さらに、ジーントランスファーベクターのmRNAが細胞質に運搬され、ベクター粒子内にパッケージングされると考えられる。vif、vpr / xについては、HIV-1ベクターでは除去している場合もあり (Dull, T. et al., J. Virol. 72(11), 8463-71, 1998)、ベクター粒子のパッケージングおよ

び機能にとって必須ではない可能性がある。vprは非分裂細胞に対する感染性の一因であるとも考えられており (Heinzinger, N. K. et al., Proc. Natl. Acad. Sci. U S A 91(15), 7311-5, 1994)、HIV-1ベクターではvprの有無により遺伝子導入できる細胞が異なるという報告がある (Kim, V. N. et al., J. Virol. 72(1), 811-6, 1998)。上記においてパッケージングベクターから完全に除去したnefは、SIVによる免疫不全症を引き起こす原因の一つであることがサルを用いた感染実験で報告されている (von Gegerfelt, A. S. et al., J. Virol. 73, 6159-65, 1999; Kestler, H. W. 3d., Naidu, Y. N., Kodama, T., King, N. W., Daniel, M. D., Li, Y., Desrosiers, R. C. Use of infectious molecular clones of simian immunodeficiency virus for pathogenesis studies., J. Med. Primatol. 18(3-4): 305-9, 1989)。上記で構築したSIVagmベクターではこの配列を完全に除去しているため、仮にパッケージングベクター由来のウイルス遺伝子を含む再構成ウイルス粒子ができたとしても、病原性を持つ危険性がさらに低下していると考えられる。

#### 【0083】

レンチウイルスをベースとしたベクターは、ベースのウイルスが非分裂状態の細胞に対し感染性を持つことから、細胞周期を停止した培養細胞や神経細胞に対して遺伝子導入能を持つことが期待される (Naldini, L. et al., Science: 272 263-267, 1996; Sutton, R. E. et al., J. Virol., 73(5), 3649-60, 1999)。さらに、VSV-Gによるシュードタイプ化を行うことにより、感染指向性はベースであるSIVのようにCD4およびケモカインレセプター陽性細胞に限定されない。VSV-Gのレセプターはリン脂質の一種であるホスファチジルセリンであることが知られており、この分子はさまざまな細胞上に存在する (Schlegel, R. et al., Cell, 32(2), 639-46, 1983)。このためVSV-Gによってシュードタイプ化を行ったSIVagmベクターの感染指向性は非常に広い。このベクターを基にシアル酸結合活性を有する膜蛋白質によりシュードタイプ化されたウイルスを作製することにより、ほぼすべての動物細胞に高い効率で遺伝子導入が可能となると予想される。

#### 【0084】

ウイルスベクター作製の際のプラスミドベクターの細胞へのトランスフェクション量は、適宜調整することが可能である。例えば、これに制限されるものではないが、次のような方法も例示できる。

## 1. 細胞培養

293T細胞（ヒト胎児腎臓由来細胞株）は、10%非働化仔ウシ血清（BIO WHITTAKER）を含むDMEM高グルコース（Gibco BRL）を用いて、37℃、10%CO<sub>2</sub>で培養する。

## 2. ベクターの作製

293T細胞を6ウェルのプラスチックカルチャープレートへ1ウェルあたり5×10<sup>5</sup>個でまき、37℃、10% CO<sub>2</sub>で48時間カルチャーする。培養液を1ウェルあたり800μlの1%ウシ血清アルブミンを含むDMEMに置換してトランスフェクションに用いる。1ウェルあたりジントランスファーベクター（pGL3C/CMVL.U3G2/RREc/s/CMVFEGFP/3LTRΔU3 または pGL3C/CMVL.U3G2/RREc/s/CMVFβ-gal/3LTRΔU3）1200ng、パッケージングベクター（pCAGGS / SIVagm gag-tat / rev）360ngに加え、エンベロープ蛋白質を発現するVSV-G発現プラスミドpVSV-G（Clontech）120ng、ネガティブ鎖RNAウイルスのHA（またはHN）、F、およびM蛋白発現プラスミド（pCAGGS中）のそれぞれ240ngを任意に組み合わせて100μlのOpti MEMに溶解後6μlのPLUS Reagent（Gibco BRL）を加えて攪拌、15分間室温で静置する。これに、100μlのOpti MEMで希釈した4μlのLIPOFECTAMINE Reagent（Gibco BRL）を添加して攪拌後さらに室温で15分間静置し、これを上記の293T細胞に滴下して緩やかに攪拌し、37℃、10% CO<sub>2</sub>下で3時間カルチャーする。1ウェルあたり1mlの1%ウシ血清アルブミン、および15μg/ml（HAの場合10μg/ml）のトリプシン（Gibco BRL）を含むDMEMを加え、37℃、10% CO<sub>2</sub>で、24時間培養する。その後1ウェルあたり2 mlの1%ウシ血清アルブミン、7.5μg/ml（HAの場合5μg/ml）のトリプシン（Gibco BRL）および0.01 unitのグラム陽性菌（例えば放線菌）由来ノイラミニダーゼを含むDMEMに培地交換し、24時間培養後に培養上清を回収、0.45μmのフィルターで濾過してベクター溶液を得る。

【0085】

ベクターの大量調製および濃縮は、例えば以下のようにして行われる。例えば

、293T細胞を15cmのプラスチックシャーレへ1枚あたり $5 \times 10^6$ 個でまき、37℃、10% CO<sub>2</sub>で48時間カルチャーする。培養液を1ウェルあたり10mlの1%ウシ血清アルブミンを含むDMEMに置換してトランスフェクションに用いる。シャーレ1枚あたりジーントランスファーベクター 8  $\mu$ g、パッケージングベクター 2.4  $\mu$ g、それにVSV-G発現プラスミドpVSV-G (Clontech) 0.8  $\mu$ g、ネガティブ鎖RNAウイルスのHA (またはHN) およびF蛋白発現プラスミド (pCAGGS中) のそれぞれ 1.6  $\mu$ gを任意に組み合わせて、1.5mlのOpti MEMに溶解後、40  $\mu$ lのPLUS Reagent (Gibco BRL) を加えて攪拌、15分間室温で静置する。これに、60  $\mu$ lのLIPOFECTAMINE Reagent (Gibco BRL) を添加した1.5mlのOpti MEMを加え攪拌後さらに室温で15分間静置し、これを上記の293T細胞に滴下して緩やかに攪拌し、37℃、10% CO<sub>2</sub>下で3時間カルチャーする。シャーレ1枚あたり10mlの1%ウシ血清アルブミン、15  $\mu$ g/mlのトリプシン (Gibco BRL) を含むDMEMを加え、37℃、10% CO<sub>2</sub>で、24時間培養する。シャーレ1枚あたり20mlの1%ウシ血清アルブミン、7.5  $\mu$ g/ml (HAの場合5  $\mu$ g/ml)のトリプシン (Gibco BRL) および 0.05~0.5 U 程度のグラム陽性菌 (例えば放線菌) 由来NAを含むD-MEMに培地交換し、37℃、10% CO<sub>2</sub>で、24時間培養した後培養上清を回収、0.45  $\mu$ mのフィルターで濾過し、42,490 $\times$ g (F/HNの場合16,000 $\times$ g) (TOMY SRX-201, TA21BH)、4℃、90分遠心する。ペレットをPBS (5% FCS, 2  $\mu$ g/ml polybrene) に溶解し、使用まで-80℃に保存する。

#### 【0086】

例えば、インフルエンザウイルスHA蛋白質でシェードタイプ化したレンチウイルスベクターは濃縮が可能である。濃縮は、例えば次のようにして実施できる。293T細胞を15cmのプラスチックシャーレへ1枚あたり $5 \times 10^6$ 個でまき、37℃、10% CO<sub>2</sub>で48時間カルチャーする。培養液をシャーレ1枚あたり10mlの1%ウシ血清アルブミンを含むDMEMに置換してトランスフェクションに用いた。シャーレ1枚あたりジーントランスファーベクター (pGL3C/CMV.L.U3G2/RREc/s/CMVF LacZ/3LTR $\Delta$ U3) 8  $\mu$ g、パッケージングベクター (pCAGGS/SIVagm gag-tat/rev) 2.4  $\mu$ g、インフルエンザHA蛋白発現プラスミドpCAGGS-HA 1.6  $\mu$ gを1.5mlのOpti MEM (Gibco BRL) に溶解後、40  $\mu$ lのPLUS Reagent (Gibco BRL) を加えて攪拌、15分間室温で静置する。これに、1.5mlのOpti MEMで希釈した60  $\mu$ lのLIPOFECTAMINE (Gibco B

RL) を添加して攪拌後さらに室温で15分間静置し、これを上記の293T細胞に滴下して緩やかに攪拌し、37℃、10% CO<sub>2</sub>で3時間カルチャーする。シャーレ1枚あたり10mlの1%ウシ血清アルブミンおよび10μg/mlのトリプシン (Gibco BRL) を含むDMEMを加え、37℃、10% CO<sub>2</sub>で16~24時間カルチャーした後に、シャーレ1枚あたり20mlの1%ウシ血清アルブミン、5μg/mlのトリプシン (Gibco BRL) および0.05~0.5 U 程度のグラム陽性菌 (例えば放線菌) 由来NAを含むDMEMに培地交換し、その24時間培養後に培養上清を回収、0.45μmのフィルターで濾過する。16,000×g(Beckman J-25I、JA-18)、4℃、1時間遠心する。ペレットをPBS (5%FCS、2μg/mlポリブレンを含む) に溶解し、-80℃で保存する。インフルエンザウイルスHAを用いることにより、VSV-Gなど他のエンベロープ蛋白質を共発現させることなく遺伝子導入が認められる。HAシュードタイプベクターは遠心により高度の濃縮が可能である。

#### 【0087】

シアル酸結合活性を持つ2種またはそれ以上の蛋白質を用いて、シュードタイプレンチウイルスベクターを作製することも可能である。例えば、インフルエンザウイルスおよびセンダイウイルスエンベロープシュードタイプレンチウイルスベクターの製造の例を示す。

#### <細胞培養>

293T細胞 (ヒト胎児腎臓由来細胞株) は、10%非働化仔ウシ血清 (BIO WHITTAKER) を含むDMEM高グルコース (Gibco BRL) を用いて、37℃、10%CO<sub>2</sub>で培養する。

#### <ベクターの作製>

293T細胞を6ウェルのプラスチックカルチャープレートへ1ウェルあたり5×10<sup>5</sup>個でまき、37℃、10% CO<sub>2</sub>で48時間カルチャーする。培養液を1ウェルあたり800μlの1%ウシ血清アルブミンを含むDMEMに置換してトランスフェクションに用いる。1ウェルあたりジーントランスファーベクター (pGL3C/CMV.L.U3G2/RREc/s/CMVF EGFP/3LTRΔU3) 1200ng、パッケージングベクター (pCAGGS/SIVagm gag-tat/rev) 360ng、Sendai virus HN蛋白発現プラスミドpCAGGS-HNおよびHA蛋白発現プラスミドそれぞれ240ngを100μlのOpti MEM (Gibco BRL) に溶解後6μlのPLUS R

eagent (Gibco BRL) を加えて攪拌、15分間室温で静置する。これに、100 $\mu$ lのOpti MEMで希釈した4 $\mu$ lのLIPOFECTAMINE (Gibco BRL) を添加して攪拌後さらに室温で15分間静置し、これを上記の293T細胞に滴下して緩やかに攪拌し、37℃、10% CO<sub>2</sub>で3時間カルチャーする。1ウェルあたり1mlの1%ウシ血清アルブミンおよび10 $\mu$ g/mlのトリプシン (Gibco BRL) を含むDMEMを加え、37℃、10% CO<sub>2</sub>で16～24時間カルチャーした後に、1ウェルあたり2mlの1%ウシ血清アルブミン、5 $\mu$ g/mlのトリプシン (Gibco BRL) を含むDMEMに培地交換し、その24時間培養後する。その後1ウェルあたり2 mlの1%ウシ血清アルブミン、5 $\mu$ g/mlのトリプシン (Gibco BRL) および0.01 unitのグラム陽性菌 (例えば放線菌) 由来ノイラミニダーゼを含むDMEMに培地交換し、24時間培養後に培養上清を回収、0.45 $\mu$ mのフィルターで濾過してウイルス溶液を得る。

#### 【0088】

本発明の方法で製造されたベクターは、周知のウイルス精製方法により精製することができる。精製方法は、上記した遠心分離、あるいはフィルトレーション (濾過)、吸着、およびカラム精製等を含む公知の精製・分離方法またはその組み合わせにより行うことができる。これにより、シアル酸結合活性を有する膜蛋白質を含む実質的に純粋なウイルスベクターを得ることができる。実質的に純粋なウイルスベクターとは、該ウイルスベクターが、核酸を細胞に導入する能力を持つ他のウイルスベクターを実質的に有さないことを言う。実質的に純粋なウイルスベクターは、ウイルス産生細胞の細胞破砕物や他の不純物を含まないことが好ましい。

#### 【0089】

本発明の方法で製造されたウイルスベクターは、薬学的に許容される担体または媒体と適宜組み合わせて組成物とすることができる。「薬学的に許容される担体または媒体」とは、ベクターと共に投与することが可能であり、ベクターによる遺伝子導入を有意に阻害しない材料である。具体的には、例えば滅菌水、生理食塩水、培養液、血清、リン酸緩衝生理食塩水 (PBS) などと適宜組み合わせて製剤化することが考えられる。さらに、その他にも、安定剤、殺生物剤等が含有されていてもよい。本発明の組成物は、水溶液、カプセル、懸濁液、シロップな

どの形態であり得る。本発明の方法で製造されたウイルスベクターを含む組成物は試薬または医薬として有用である。該組成物は、例えば、各種細胞に対するインビトロまたはインビボでの遺伝子導入試薬として、または、エクスビボまたはインビボでの遺伝子治療のための医薬として有用である。患者への投与は、一般的には、例えば、動脈内注射、静脈内注射、腹腔内注射、皮下注射、経腸投与、経口投与、鼻腔内投与、エクスビボ投与など当業者に公知の方法により行いうる。特に鼻腔または気管支粘膜への投与、および血球系・造血系細胞へのエクスビボ投与は好適である。ベクターの投与量は、疾患、患者の体重、年齢、性別、症状、投与目的、投与組成物の形態、投与方法、導入遺伝子等により異なるが、当業者であれば適宜決定することが可能である。

#### 【0090】

本発明の方法で製造されたウイルスベクターは、各種遺伝性疾患の遺伝子治療にも応用が可能である。対象となる疾患は特に制限されない。例えば、対象となり得る疾患とその単一原因遺伝子としては、ゴーシェ病においては $\beta$ -セレブロシダーゼ（第20染色体）、血友病においては血液凝固第8因子（X染色体）および血液凝固第9因子（X染色体）、アデノシンデアミナーゼ欠損症においてはアデノシンデアミナーゼ、フェニルケトン尿症においてはフェニルアラニンヒドロキシラーゼ（第12染色体）、Duchenne型筋ジストロフィーにおいてはジストロフィン（X染色体）、家族性高コレステロール血症においてはLDLレセプター（第19染色体）、嚢嚢性繊維症においてはCFTR遺伝子の染色体への組み込み等が挙げられる。それら以外の複数の遺伝子が関与していると思われる対象疾患としては、アルツハイマー、パーキンソン病等の神経変性疾患、虚血性脳障害、痴呆、またエイズ等の難治性の感染症等が考えられる。エイズ患者の造血幹細胞を細胞外にとりだしin vitroでSIVペースの本発明の方法で製造されたベクターを導入し、HIVの感染が起こる前にSIVに由来するゲノム転写を優勢にして、患者の体に戻し、HIVの転写因子を無効にする治療方法が考えられる。さらには、慢性疾患への応用として、虚血性心疾患においてはVEGFならびにFGF2遺伝子、動脈硬化の遺伝子治療に関しては、細胞増殖関連遺伝子、例えば細胞増殖因子（PDGF、TGF- $\beta$ 等）、Cyclin-dependent kinase等の発現抑制への応用が可能となる。ま

た糖尿病においてはBDNF遺伝子が候補となりうる。またこの方法により、遺伝子変異が癌化を引き起こす癌抑制遺伝子p53等の遺伝子を染色体に組み込む補充治療への応用、多剤耐性遺伝子をin vitroで骨髓由来造血幹細胞に導入した後、患者の血液に戻すことによって、癌の薬物治療の限界を超えた治療が可能となる。自己免疫疾患、例えば多発性硬化症、慢性関節リウマチ、SLE、糸球体腎炎等の遺伝子治療に関しては、T細胞レセプター、各種接着因子（例えばICAM-1、LFA-1、VCAM-1、LFA-4等）、サイトカインおよびサイトカインレセプター（例えばTNF、IL-8、IL-6、IL-1等）細胞増殖因子（例えばPDGF、TGF- $\beta$ 等）、作用因子（例えばMMP等）のアンチセンス発現による発現抑制への応用が可能となる。アレルギー性疾患の遺伝子治療に関しては、IL-4、Fc $\epsilon$ R-I等のアンチセンス発現による発現抑制への応用が可能となる。臓器移植に関連する遺伝子治療に関しては、ヒト以外の動物ドナーの組織適合性抗原をヒト型に変えて異種移植の成功率を高める応用が可能となる。さらにはヒトES細胞の染色体に外来遺伝子を導入し、胚の段階で欠損する遺伝子を補って、体循環する酵素、成長因子等の不足を補充する治療が考えられる。

#### 【0091】

例えば、IL-4はヘルパーTリンパ球のTh2リンパ球への分化を促す。Th2リンパ球はIL-4、IL-5、IL-9、IL-13といった喘息の炎症を媒介するサイトカインを分泌する。IL-4は呼吸障害に関与する肺粘液膜からの粘液分泌を誘導する分子の1つである。IL-4は、好酸球表面に存在するVLA 4分子と相互作用する細胞接着分子であるVCAM-1の発現を制御している。この相互作用により、好酸球は血液中から肺組織の炎症部位へ移動することができる。IL-4はB細胞の増強と、アレルギー反応を引き起こすために必要な抗原特異的IgEの産生を誘導する。抗原特異的IgEはマスト細胞がヒスタミン、ロイコトリエンといった炎症の媒介となる物質の放出を引き起こし、これらが、気管支収縮を引き起こす。このようなIL-4の役割から、喘息患者を対象とした可溶性インターロイキン4（IL-4）受容体などを発現するベクターも有用である。

#### 【0092】

#### 【実施例】



以下、実施例により本発明をさらに詳細に説明するが、本発明はこれら実施例に制限されるものではない。なお、本明細書中に引用された文献は、本明細書の一部として組み込まれる。

### 【0093】

[実施例1] グラム陽性菌由来のNAを使用したインフルエンザウイルスエンベロープシュードタイプSIVベクターの調製

#### 細胞培養

293T細胞（ヒト胎児腎臓由来細胞株）（Proc. Natl. Acad. Sci. USA, vol.90, pp. 8392-8396, 1993）は、10%非働化仔ウシ血清（BIO WHITTAKER）を含むDMEM高グルコース（Gibco BRL）を用いて、37℃、10% CO<sub>2</sub>で培養した。

### 【0094】

#### ベクターの作製

293T細胞を6ウェルのプラスチックカルチャープレートへ1ウェルあたり5×10<sup>5</sup>個でまき、37℃ 10% CO<sub>2</sub>で48時間カルチャーした。培養液を1ウェルあたり800μlの1%ウシ血清アルブミンを含むDMEMに置換してトランスフェクションに用いた。1ウェルあたりジーントランスファーベクター pGL3C/CMV.L.U3G2/RREc/s/CMV.F.EGFP/3LTRΔU3 1200ng、パッケージングベクター pCAGGS/SIVagm gag-tat/rev 360 ng、HA蛋白発現プラスミドpCAGGS-HA 240ngを100μlのOpti MEM（Gibco BRL）に溶解後 6μlのPLUS Reagent（Gibco BRL）を加えて攪拌、15分間室温で静置した（W001/92508）。これに、100μlのOpti MEMで希釈した4μlのLIPOFECT AMINE（Gibco BRL）を添加して攪拌後さらに室温で15分間静置し、これを上記の293T細胞に滴下して緩やかに攪拌し、37℃ 10% CO<sub>2</sub>で3時間カルチャーした。1ウェルあたり 1 ml の 1 %ウシ血清アルブミンおよび10μg/mlのトリプシン（Gibco BRL）を含むDMEMを加え、37℃ 10% CO<sub>2</sub>で16～24時間カルチャーした後に、1ウェルあたり2 mlの1%ウシ血清アルブミン、5μg/mlのトリプシン（Gibco BRL）および0.01 unitの *M. viridifaciens*精製ノイラミニダーゼを含むDMEMに培地交換し、その24時間培養後に培養上清を回収、0.45μmのフィルターで濾過したものを使用した。対照として、*V. cholerae*の精製ノイラミニダーゼ（Roche）0.05 unit を用いて同様にベクターを製造した。

【0095】

SIVagmベクターによる遺伝子導入

標的となる293T細胞を6ウェルのプラスチックカルチャープレートへ1ウェルあたり $1 \times 10^6$ 個でまき、37℃、10% CO<sub>2</sub>で48時間カルチャーした。カルチャープレートより培養液を除去し、ベクター液にポリブレン (Sigma) を最終濃度 8  $\mu\text{g} / \text{ml}$ で添加したものを1 ml 重層し、37℃、10% CO<sub>2</sub>で3時間カルチャーし、ベクターを感染させた。3時間後に20%非働化仔ウシ血清 (BIO WHITTAKER) を含む培養液を 1 ml 加え、37℃、10% CO<sub>2</sub>で48~72時間培養した。

【0096】

ベクターの力価測定

ベクターの力価測定は、ベクター液 1 ml によって遺伝子導入される細胞の数によって計算した。上記の方法で 1 ml のベクター液を感染、感染後72時間後に蛍光倒立型顕微鏡 (DMIRB (SLR)、ライカ) にて200倍の倍率で検鏡、視野内の遺伝子導入細胞 (GFP陽性細胞) 数を測定し、3視野の平均を求め、視野の面積とプレートの面積よりもとめた係数854.865をかけることにより力価の算出を行った。力価の単位は Transducing Unit (TU) / mlで表記することとした。その結果、*V. cholerae*由来NA (VcNA) を用いた場合の力価が  $2.8 \times 10^4$  (TU/ml) であったのに対し、*M. viridifaciens*由来NA (MvNA) を用いた場合の力価は  $1.1 \times 10^5$  と有意に高かった (図1)。

【0097】

【実施例2】 HAシュードタイプSIVベクターの製造における*V. cholerae*由来NAの添加量の効果

上記と同様のHAシュードタイプSIVベクターの調製において、*V. cholerae*由来のNAを添加量を変えて用い、その効果を検証した。その結果、NAの添加量が0.01~0.1 U (0.005~0.05 U/ml) の間で力価にほとんど変化はなかった。この結果より、*V. cholerae*由来のNAを使用したベクターの力価が低いのは使用したNAの量が少ないことによるものではないと考えられる (図2)。

【0098】

【発明の効果】

本発明により、グラム陽性菌由来ノイラミニダーゼを用いて、シアル酸結合活性を有する膜蛋白質をエンベロープに含むウイルスベクターを製造する新規な方法が提供された。グラム陽性菌由来ノイラミニダーゼは安価であり、低用量でも高い力価のウイルス産生が可能であることから、工業的なウイルスの大量生産において、本発明の方法はコストパフォーマンスに優れている。製造されるベクターは、遺伝子治療などの臨床場面において好適に用いられる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

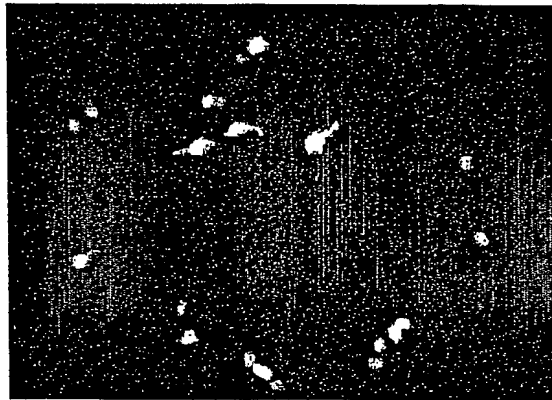
Micromonospora viridifaciens 由来 NA を用いて製造したウイルスによる遺伝子導入を示す図である（右側のNA）。対照として Vibrio cholerae 由来のNAを用いて同様にウイルスを製造し、同量のウイルス産生細胞の培養上清を用いて遺伝子を導入した（左側のvcNA）。

【図 2】

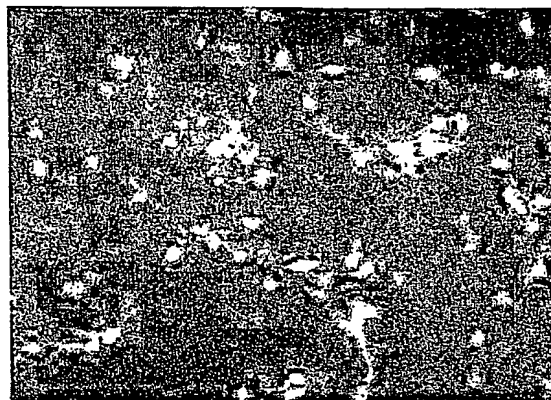
Vibrio cholerae由来 NA を用量を変えて用いて製造した場合のウイルスの力価を示す図である。ウイルス産生細胞の培養上清を同量用い、それぞれ同じ条件下で遺伝子導入を行なった。

【書類名】 図面

【図 1】



vcNA



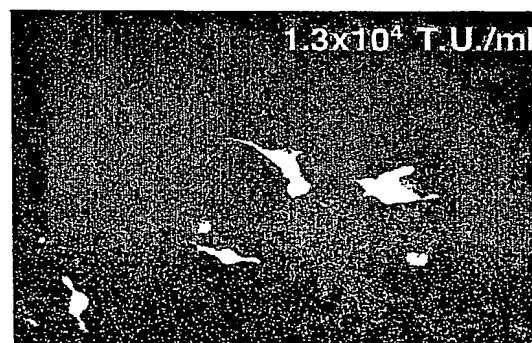
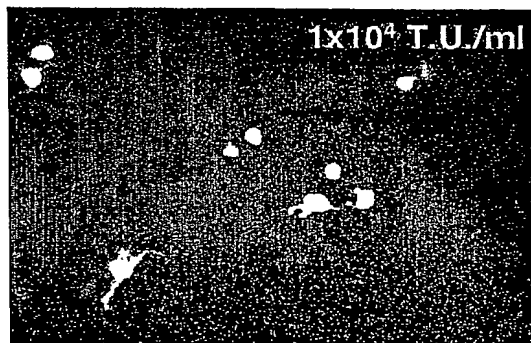
NA

【図 2】

ノイラミニダーゼ添加量 (unit)

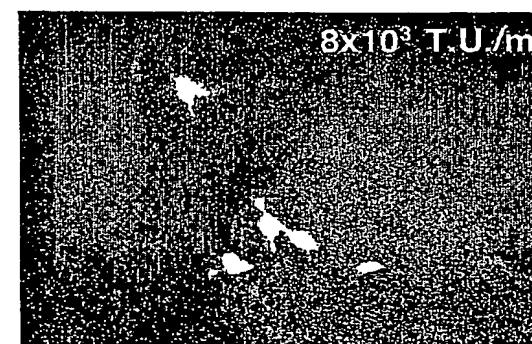
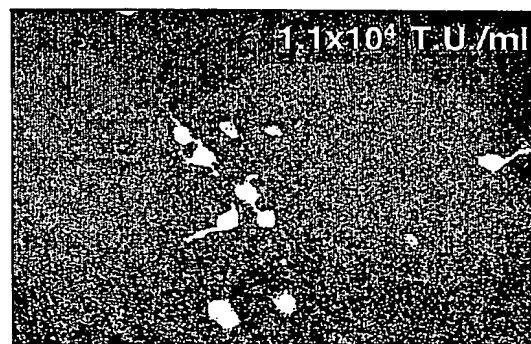
0.01

0.025



0.05

0.1



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 シアル酸結合活性を有する膜蛋白質をエンベロープに含むウイルスベクターをグラム陽性菌由来ノイラミニダーゼ(NA)を用いて製造する方法を提供する。

【解決手段】 本発明は、シアル酸結合活性を有する膜蛋白質を含むウイルスベクターの製造方法であって、グラム陽性菌由来NAの存在下で該ウイルスベクター産生細胞を培養し、産生されたウイルスを回収する工程を含む方法を提供する。シアル酸結合活性を有する膜蛋白質をエンベロープに含むウイルスベクターの産生細胞を、グラム陽性菌由来NAの存在下で培養することにより、高いコストパフォーマンスで高力価のウイルスを製造することができる。製造されるウイルスベクターは、造血幹細胞を含む血球系・造血系細胞、および粘膜上皮細胞を含む粘液を有する細胞などの、従来では遺伝子導入が困難であった細胞に対して高率で遺伝子を導入する能力を持つことから、遺伝子治療用ベクターとして有用である。

【選択図】 なし

特願 2002-258576

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[595155107]

1. 変更年月日

1995年11月 1日

[変更理由]

新規登録

住 所

茨城県つくば市観音台1丁目25番11号

氏 名

株式会社ダイナベック研究所